

Modellmessungen mit Blitzströmen

Von Gerhard Frühauf, Darmstadt *)

DK 621.317.333.83

Einführung

Es ist möglich, mit Kondensatorentladungen Ströme zu erzielen, die dem natürlichen Blitzstrom in Stromstärke und zeitlichem Verlauf gleichen und ihn sogar übertreffen können. So kann man die sehr verschiedenartigen Äußerungen der Blitzenergie im Laboratorium systematisch nachbilden und studieren. Die dazu nötigen Einrichtungen und Methoden der richtigen Umrechnung des Modellversuches auf den natürlichen Blitz werden im folgenden beschrieben.

Der Blitz ist eine in seinen Wirkungen sehr vielseitige Störungsquelle. Er kann thermische und dynamische Wirkungen ausüben, Brände und Explosionen auslösen und in elektrischen Anlagen Überspannungen erzeugen. Da sein Auftreten aber nach Ort und Zeit nicht vorauszusagen ist, eignet sich der natürliche Blitz recht wenig als Studienobjekt zur Untersuchung seiner Wirkungen. Es ist daher naheliegend, zu versuchen, den Blitzeinschlag in einem Modell nachzubilden und dabei unter willkürlicher Abwandlung der Versuchsanordnung im Laboratorium alles Wissenswerte zu erfahren.

Zulässigkeit von Modellmessungen

Die besonders interessante Frage nach dem wahrscheinlichen Einschlagpunkt eines Blitzes auf einer Freileitung oder einer Blitzschutzanlage hat man schon durch Modellversuche zu klären gesucht [1 bis 5], um Anhaltspunkte für die zweckmäßige Lage der Erdseile, die erforderliche Höhe der Auffangstange oder die Wirksamkeit eines Abschirmkäfigs zu erhalten. Die gewonnenen Ergebnisse führten zur Definition von sogenannten „Schutzräumen“, in denen keine Einschlagsfußpunkte liegen können. Die genauere Erforschung der Ausbildung des Blitzkanals hat aber gezeigt, daß derartigen Modellversuchen nur ein sehr bedingter Wert zukommt. Wohl kann man das Objekt, eine Freileitung oder ein Gebäude, maßstäblich im Modell nachbilden, nicht aber die Eigenschaften des in einzelnen kurzen Ruckstufen vorwachsenden Blitzkanals. Der Funke, der aus einer metallischen Elektrode, z. B. einer Spitze oder einem die Wolken darstellenden Drahtnetz, mit einigen 100 kV Stoßspannung über 1 bis 2 m Abstand das Modell trifft, hat einen anderen Mechanismus als der natürliche Blitz, der sich als elektrodlose Entladung über einige Kilometer Länge erstrecken kann. Seine örtliche Trefferwahrscheinlichkeit ist deshalb eine andere, und es gibt noch kein Mittel, um die Eigenschaften sehr langer Blitzkanäle modellmäßig verkleinert im Laboratorium nachzubilden. Diese Erkenntnis, wie auch die immer wieder festgestellten Fälle von Einschlägen an solchen Stellen, die als geschützt anzusehen waren, haben dazu geführt, daß man die Schutzräume nur noch als ersten Näherungsversuch an die Wirklichkeit gelten lassen kann.

Im Gegensatz zu solchen „Spannungs-Modellversuchen“ sind „Strom-Modellversuche“ mit sehr viel größerer Natur-

treue ausführbar. Der zeitliche Stromverlauf in einem einmal gebildeten Blitzkanal ist von der Gestalt des getroffenen Objekts, von seiner Induktivität und von seinem Erdungswiderstand nur in sehr geringem Maße abhängig. Maßgebend sind vielmehr die in der Wolke vorhandenen Ladungsmengen, ihre Polarität, Größe und räumliche Verteilung, wie auch die Länge des Blitzkanals. Der Stromkreis von der Wolke über den Blitzkanal durch das Objekt zur Erde führt also im wesentlichen einen eingepprägten Strom; Spannungsabfall und Leistungsumsatz am Objekt richten sich nach dem Widerstand des Objektes, der Strom ist als gegeben anzusehen. Modellmessungen mit Blitzströmen sind daher möglich und zulässig, wenn nur der zeitliche Verlauf

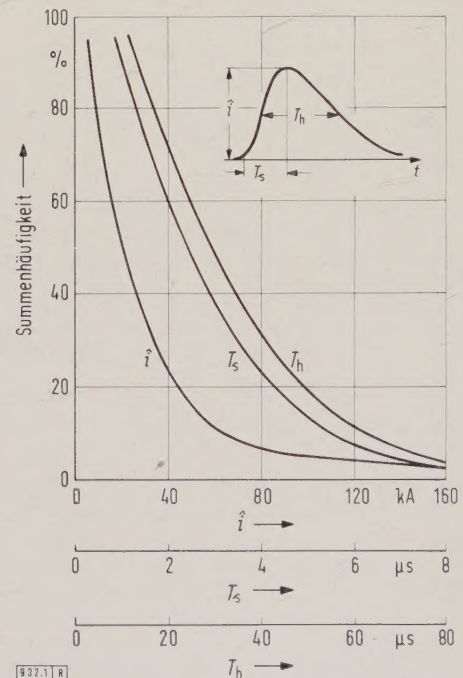


Bild 1. Summenhäufigkeit der Kenngrößen von Blitzströmen in Wolke-Erde-Blitzen. Mittelwerte der Amplitude \hat{i} , der Stirndauer T_s und der Halbwertdauer T_h .

der Blitzströme bekannt ist und diese sich mit laboratorismäßigen Einrichtungen und Mitteln herstellen lassen. Daß beide Voraussetzungen heute recht gut erfüllt sind, soll zunächst gezeigt werden.

Der natürliche Blitzstromverlauf

Aus den zahlreichen Messungen des Stromverlaufes in Erdblitz [6 bis 9] sind in Bild 1 die durchschnittlichen Häufigkeiten der Stromscheitelwerte und der Stirn- und Halbwertdauer zusammengestellt. Man kann der Darstellung entnehmen, daß z. B. nur 20 % Wahrscheinlichkeit dafür vorhanden ist, daß ein Erdblitz mehr als $\hat{i} = 45$ kA Scheitelwert

*) Prof. Dr.-Ing. G. Frühauf ist Direktor des Institutes für Hochspannungs- und Meßtechnik der TH Darmstadt.

und mehr als $T_h = 50 \mu s$ Halbwertdauer hat. Bei solchen Aussagen sind aber verschiedene Einschränkungen zu machen. Es handelt sich um Angaben über Einzelentladungen; Mehrfachentladungen mit bis zu 30 Teilblitzen im Verlauf von rund einer Sekunde kommen ebenfalls vor. Ferner scheinen Einschläge in sehr hoch liegende Punkte (Türme) größere Scheitelströme zu liefern als solche in den flachen Boden, und schließlich führen die Blitzkanäle manchmal einige Zehntelsekunden lang Nachströme von 100 bis 500 A, die in den Häufigkeitskurven ebenfalls nicht zum Ausdruck kommen. Die Zulässigkeit so weitgehender Vereinfachungen der statistischen Darstellung kann also wohl bestritten werden. Hier aber dürften die Kurven genügen, da sie nur dazu dienen sollen, aus der Fülle der vorkommenden Formen einen Blitzverlauf von mittlerer Häufigkeit herauszusuchen, der als Bezugsgröße für Modellmessungen dienen kann.

Ein solcher „Normalblitz“ wird zweckmäßig so definiert, daß er zwar stärker ist als der 50 %-Durchschnittswert, daß aber seltene Giganten bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt werden. Man kommt dann etwa auf folgende Blitzdaten, die nur von etwa 30 % der natürlichen Erdblitzes überschritten werden:

Stirndauer 3 μs ,
Dauer bis zum Scheitelwert 5 μs ,
Halbwertdauer 40 μs ,
Stromscheitelwert 35 kA,
transportierte Ladung 1,9 As,
mittlere Stirnteilheit 12 kA/ μs .

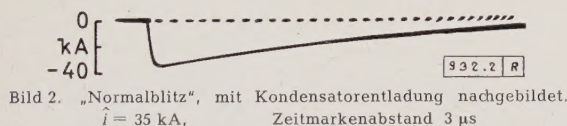
Der mathematische Ausdruck eines solchen Blitzstromes lautet mit großer Annäherung

$$i = -40,3 \text{ kA} \cdot \left(e^{-\frac{t}{49 \mu s}} - e^{-\frac{t}{1,5 \mu s}} \right), \quad (1)$$

worin die Zeit t in Mikrosekunden (μs) eingesetzt wird. Das Minuszeichen deutet an, daß die weitaus überwiegende Zahl von Erdblitzes negative Ladung aus der Wolke zur Erde transportiert.

Künstlich herstellbarer Stromverlauf

Ströme, die den natürlichen Blitzströmen nach Größe und Verlauf nahekommen, lassen sich mit einer Kondensatorbatterie erzeugen [10, 11], die über eine Funkenstrecke



nahezu im Kurzschluß entladen wird. Eine bestimmte, gewünschte Form des Stromverlaufs läßt sich durch richtige Wahl der Konstanten des Stromkreises einstellen. Als solche wählbaren, veränderlichen Stromkreiskonstanten stehen zur Verfügung: die Kapazität der Batterie C, die wirksame Induktivität des ganzen Entladekreises L, der wirksame Dämpfungswiderstand des Entladekreises R und die Ladespannung der Batterie. Nun ist C durch die verfügbaren Kondensatoreinheiten und L durch die räumliche Anordnung der Schienenverbindungen zum Objekt praktisch weitgehend festgelegt. Darüber hinaus ändern sich L und R jeweils mit dem Prüfling, dem Objekt. Da ferner in R der Funkenwiderstand der Zündfunkenstrecke enthalten ist und in den Leitungen auch Stromverdrängung eintritt, ist R auch während des Stromdurchganges nicht zeitlich konstant.

Die Herstellung einer vorgegebenen Form des Stromverlaufes, etwa des Normalblitzes (Bild 2), macht also große Schwierigkeiten, und es wird meist bei mehr oder weniger guten Annäherungen bleiben müssen. Eine solche exakte Nachbildung ist aber für das Studium der Blitzstromwirkungen gar nicht erforderlich. Man kann mit Strömen von wesentlich anderer Form und Höhe, sogar mit schwach gedämpften schwingenden Entladeströmen arbeiten, wenn ihre verschiedenartigen Wirkungen auf die entsprechenden

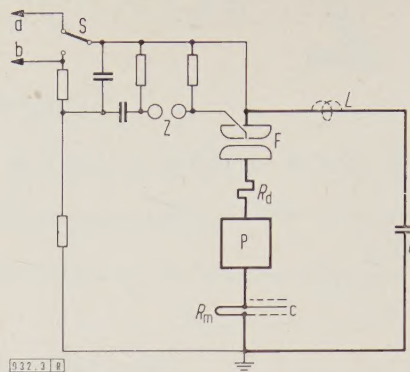


Bild 3. Schaltbild des Hochstrom-Stoßkreises.

$C = 52,6 \mu F$ für eine höchste Ladespannung von $U_0 = 40 \text{ kV}$
 $L = 0,18 \mu H$ bei kleinsten Abmessungen des Prüflings P
F Relaisfunkenstrecke
P Prüfling
 R_m Strommeßwiderstand
 R_d Dämpfungswiderstand
S fernbetätigter Hochspannungsschalter
Z Zwischenfunkenstrecke
a Zuleitung vom Ladegleichrichter
b Auslöseimpuls zum Kathodenstrahl-Oszillographen
c Stoßableitung zum Kathodenstrahl-Oszillographen

Wirkungen des Normalblitzes oder eines Vielfachen davon umgerechnet werden. Die Umrechnungsmethode wird freilich je nach der Art der untersuchten Blitzwirkung verschieden sein müssen.

Bild 3 zeigt die zu den später beschriebenen Modellmessungen benutzte Schaltung, Bild 4 eine Teilansicht der Stoßstromanlage. Die im oberen Teil von Bild 3 dargestellte Hilfsschaltung ist so aufgebaut, daß sich beim Umlegen des Schalters S an der Zwischenfunkenstrecke Z eine ansteigende Spannung aufbaut, die nach einstellbarer Zeit zum Durchschlag von Z führt. Damit wird die in F enthaltene Reizfunkenstrecke und als Folge davon die Hauptfunkenstrecke F gezündet. Eine besondere Spannungsquelle ist hier für die Auslösung nicht nötig, es wird nur ein Teil der Ladespannung am Teiler abgegriffen und in einen Auslöseimpuls verwandelt. Der Schalter S wirkt gleichzeitig als automatischer Erdungsschalter für die Batterie. Ein Spannungsimpuls gelangt unverzögert von b über einen Koppelkondensator zum Kathodenstrahl-Oszillographen. Die Schaltung hat sich wegen ihres einfachen Aufbaues und der leichten Verstellbarkeit des Vorlaufes des Kathodenstrahl-Oszillographen sehr bewährt.

Bei Hochstrom-Stoßkreisen für andere Zwecke kann eine Aufteilung der Funkenstrecke F zweckmäßig sein, so daß jeder Kondensatoreinheit bzw. jeder Zuleitung eine Funkenstrecke zugeordnet ist. Die Induktivitäten der Einzelfunken-

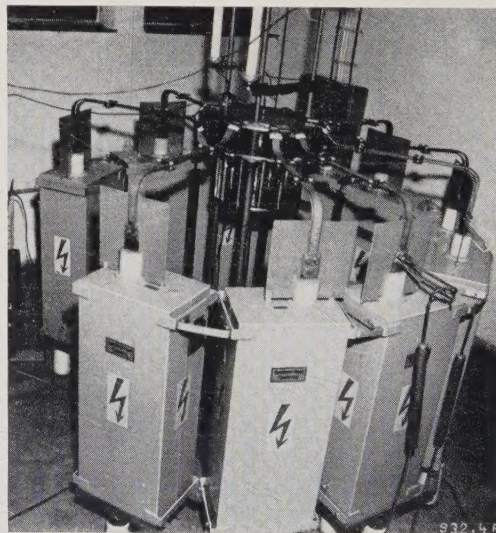


Bild 4. Teilansicht der Hochstrom-Stoßanlage.
Die Auslösesteuerung ist oben aufgebaut.

strecken sind dann parallelgeschaltet, die Gesamtinduktivität ist zugunsten einer höheren Stromspitze herabgesetzt. Auch für solche Anordnungen ist die dargestellte Auslöseschaltung brauchbar; es ist nur nötig, die Zahl der RC-Glieder vor den Reizfunkenstrecken ebenso zu vervielfachen. Für Blitzstrom-Modellversuche genügt aber eine Anordnung mit einer einzigen Funkenstrecke für den Gesamtstrom, weil die so erzielten Stromstärken ausreichen und weil das Objekt selbst ohnedies meist eine solche Zentralfunkenstrecke darstellt oder enthält.

Je nach der Größe des Widerstandes ergibt sich ein Stromverlauf, der alle Formen von der aperiodischen Entladung mit steiler Stirn und langsam abfallendem Rücken bis zur schwach gedämpft ausschlagenden Entladung annehmen kann. Mit steigendem Widerstand wird der erste Stromscheitelwert kleiner, die Anstiegsdauer kürzer. Bild 5 zeigt einige typische Formen des abklingenden Stromes. Alle Augenblickswerte sind praktisch proportional der gewählten Ladespannung. Nur der nicht gleichbleibende Funkenwiderstand kann darin geringe Abweichungen bringen.

Bei der Konstruktion der Strommeßwiderstände (Bild 6) ist große Sorgfalt nötig. Sie müssen eine verschwindend kleine Induktivität haben oder so gebaut werden, daß die induktive Komponente ihres Spannungsabfalls kompensiert

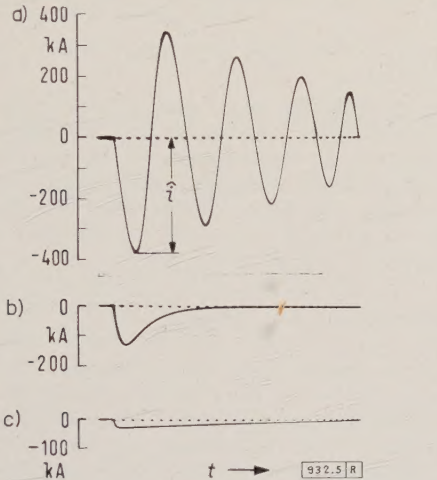


Bild 5. Zeitlicher Verlauf des Stromes \hat{i} bei verändertem Gesamtwiderstand R .

a) $R = 6,1 \text{ m}\Omega$,	$\hat{i} = 372,5 \text{ kA}$,
b) $R = 123 \text{ m}\Omega$,	$\hat{i} = 129,5 \text{ kA}$,
c) $R = 1,0 \Omega$,	$\hat{i} = 29 \text{ kA}$.

Ladespannung $U_0 = 30 \text{ kV}$ Zeitmarkenabstand $3 \mu\text{s}$

wird und nicht in die Messung eingeht. Eine Restinduktivität macht sich im Oszillogramm deutlich bemerkbar durch einen unstetigen Ansprung der Stromkurve und eine Überhöhung der Scheitelwerte. Bei den Dämpfungswiderständen spielt die Induktivität keine ausschlaggebende Rolle; sie geht nur zusätzlich in die Gesamtinduktivität des Stromkreises ein, verursacht aber keine Meßfehler. Die Erwärmung der Dämpfungswiderstände kann dagegen Schwierigkeiten bereiten, da fast der gesamte Energieinhalt der Batterie in ihnen in Wärme umgesetzt wird. Das bedeutet, daß bei solchen Batterien 20 bis 100 kW bei einer Temperaturzunahme von möglichst weniger als 100 grd aufzunehmen sind. Wenn der Materialaufwand, die räumlichen Abmessungen und damit auch die Induktivität des ganzen Kreises nicht zu hoch ansteigen sollen, muß eine höhere Temperatur zugelassen und eine besondere Kühlung durch Beblasung eingeführt werden.

Fußpunktspuren von Blitzen

Erfahrungsgemäß ist es oft schwierig, die Stelle eines Blitzeinschlages, seinen Fußpunkt, aufzufinden. Man kann ihn manchmal aus der Art und Lage der Zerstörungen rekonstruieren, die der Blitz weiterhin anrichtet. Zerschlagene Dachziegel eines Hauses, ein zersplitterter Baumgipfel zeigen

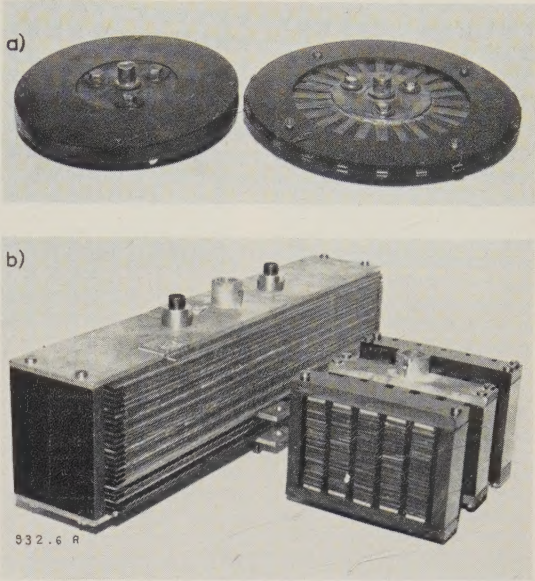


Bild 6. Widerstände aus Flachband.
a) Meßwiderstände, b) Dämpfungswiderstände.

den wahrscheinlichen Einschlagsort deutlich an. Sitzt aber der Fußpunkt auf einem gut leitenden Körper, einem Blech, Mast oder Freileitungseil, so hinterläßt der Blitz doch recht wenig auffällige Spuren, die sich auf der meist rauen Metallfläche kaum abheben und zudem bald durch Oxydation oder Verschmutzung überdeckt werden können.

Es ist deshalb wertvoll, im Modellversuch feststellen zu können, wie der Fußpunkt aussieht, wenn er von einem Strom bekannter Stärke und bekanntem Ablauf gebildet wurde. Die Veränderung der Metalloberfläche besteht zunächst in chemischen Umsetzungen verschiedener Art, bei denen besonders der Sauerstoff mit Oxydation oder Reduktion beteiligt ist. Bei stärkeren Strömen oder längerer Dauer der Einwirkung kommt es dann zu Schmelzerscheinungen. Das Metall wird oberflächlich angeschmolzen, die flüssigen Teilchen werden durch die nachfolgende Explosion des Funkenkanals radial verspritzt (Bild 7 und 8).

Die am Fußpunkt verfügbare Leistung ist das Produkt der Stromstärke i und der Spannung im Anodenfall u_A . Die gesamte dort umgesetzte Energie

$$W = \int_0^\infty u_A i \, dt = u_A Q \tag{2}$$

ist also proportional der durchgeflossenen Ladungsmenge, da der Anodenfall als stromunabhängig angenommen werden darf.

Für den Normalblitz ergibt sich nun $Q = 1,92 \text{ As}$. Nimmt man $u_A = 15 \text{ V}$ an, so wird $W = 28,8 \text{ Ws} = 6,9 \text{ cal}$, also eine recht bescheidene Energie. Dementsprechend ist auch die

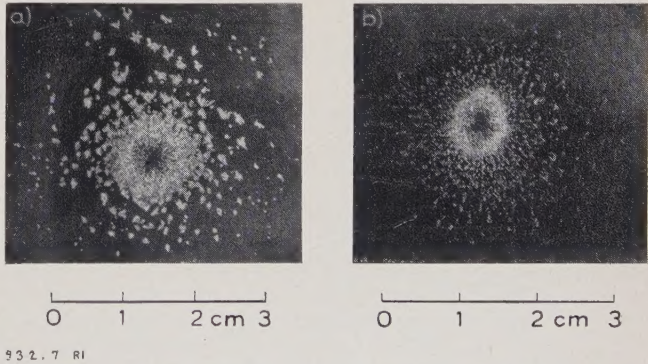


Bild 7. Fußpunktspuren a) des positiven und b) des negativen Normalblitzes auf einer Stahlplatte.

Stromscheitelwert $\hat{i} = 35 \text{ kA}$	Ladungs-Scheiteldauer $\vartheta_Q = 29,5 \mu\text{s}$
Ladung $Q = 1,92 \text{ As}$	Energie $W = 28,8 \text{ Ws}$.

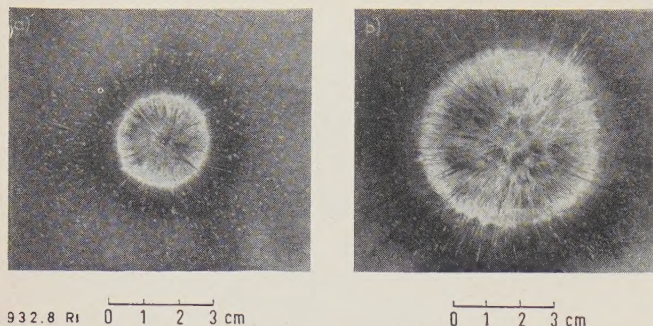


Bild 8. Fußpunktpuren bei größeren Ladungsmengen, die durch schwingende Entladungen erzielt wurden.

Teilbild	\hat{i}_1 kA	ϑ_Q μ s	Q As	W Ws
a	167	29	4,8	72
b	340	30	10,2	155

Fußpunktpur schwach ausgebildet und nur auf einer polierten Fläche deutlich sichtbar zu machen (Bild 7). Die etwa kreisförmige Marke von rd. 1 cm Dmr. läßt aber deutliche Unterschiede der Polarität erkennen. Sie hat eine gleichmäßige Struktur mit feinen Ausstrahlungen, wenn die Platte Anode ist, was für die meisten Erdblitzes zutrifft. Der kathodische Fußpunkt zeigt dagegen am Rand mehrere voneinander getrennte matte Flecken. Die Fußpunkte sind ziemlich beweglich. Wird der Funkenkanal einem seitlichen magnetischen Druck ausgesetzt, z. B. durch das Feld des im Metall einseitig weiter fließenden Blitzstromes, so kann er wandern. Dabei wird die von ihm hinterlassene Spur noch unansehnlicher.

Stärkere Schmelzspuren entstehen am Fußpunkt, wenn die hindurchgeflossene Ladung größer ist, also bei größerer Amplitude des Blitzstromes, bei Mehrfachblitzen mit gleichem Fußpunkt, oder beim Nachfließen eines Gleichstromschwanzes von einigen 100 A. In solchen Fällen kommt es zu Ladungsmengen von 100 As und mehr, die bei Ausmessung der Oszillogramme von natürlichen Blitzen festgestellt worden sind. Gibt die Kondensatorbatterie diese Ladungsmengen aus ihrer begrenzten Kapazität nicht her, so ist dennoch eine Nachbildung modellmäßig möglich, wenn man statt der aperiodischen eine schwingende Entladung, etwa nach Bild 5a, benutzt. Auf der ebenen Stahlfläche ergeben sich dann Spuren, wie sie in Bild 8 dargestellt sind.

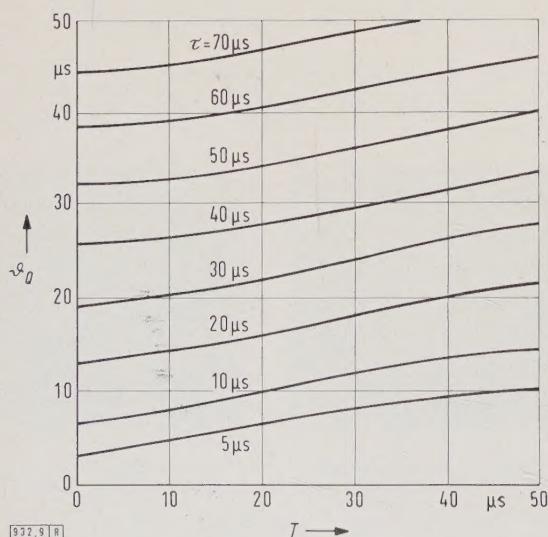


Bild 9. Ermittlung der Ladungs-Scheiteldauer ϑ_Q für schwingende Entladungen aus den Werten für die Schwingungsdauer T und die Dämpfungszeitkonstante τ des Stromoszillogramms.

Die bei den Bildern angegebenen Werte für Q lassen sich aus den gleichzeitig aufgenommenen Stromoszillogrammen durch Planimetrieren aller Halbwellen ermitteln oder auch aus den Kurven von Bild 9 entnehmen. Ist der Stromverlauf

$$i = I_0 \cdot e^{-t/\tau} \cdot \sin \omega t, \quad (3)$$

so ist die durch den Fußpunkt abwechselnd in beiden Polaritäten durchgeflossene Ladung im ganzen

$$Q = \int_0^\infty |i| dt = \hat{i}_1 \cdot \frac{\tau}{e^{-t_m/\tau} \cdot \sin \omega t_m} \cdot \frac{\omega \tau}{1 + (\omega \tau)^2} \cdot \coth \frac{\pi}{2 \omega \tau} = \hat{i}_1 \vartheta_Q. \quad (4)$$

Hierin ist $t_m = 1/\omega \cdot \arctan \omega \tau$ die Zeit bis zum ersten Scheitelwert.

Für einen weiten Bereich möglicher Schwingungsformen ist in Bild 9 der Wert ϑ_Q , den man als Ladungs-Scheiteldauer bezeichnen kann, aufgetragen. Die Parameter, die dazu aus dem zugehörigen Stromoszillogramm leicht entnommen werden können, sind

\hat{i}_1 die erste Stromamplitude,

$T = \frac{2\pi}{\omega}$ die Schwingungsdauer der gedämpften Schwingung,

$\tau = \frac{T}{\ln(\hat{i}_1/\hat{i}_3)}$ die Dämpfungszeitkonstante.

Bei Verwendung eines gedämpft schwingenden Stromes zur modellmäßigen Erzeugung von Oberflächenspuren geht allerdings die Unterscheidbarkeit von positiven und negativen Entladungen verloren, ihre Schmelzwirkungen überdecken sich. Ein großer Fehler bei der Berechnung der Energie W entsteht aber nicht, da Anoden- und Kathodenfall annähernd gleich groß sind.

So können beispielsweise auch die Fußpunkte stärkerer Blitzentladungen auf Leitungsseilen im Modell untersucht werden. Bild 10 zeigt mehrere solcher Beispiele mit der Angabe der zugehörigen Ladungsmengen. Die Zahlen lassen erkennen, daß nur starke Blitze eine merkliche Beschädigung der Seiloberfläche hervorrufen können. Auch dann ist die Beschädigung nicht tiefgreifend; ein völliges Durchschmelzen eines Teilleiters ist in keinem Fall eingetreten. Diese Feststellung erhält eine besondere Bedeutung im Hinblick auf die mögliche Herabsetzung der Zugfestigkeit der Freileitungsseile oder der Tragseile von Seilbahnen. Wenn in einzelnen Fällen vom Durchschmelzen und Aufplatzen von Einzeldrähten berichtet wird, so muß es sich um sehr seltene Blitzgiganten gehandelt haben. Es ist aber auch die andere Deutung zulässig, daß das Seil an der betreffenden Stelle schon schadhaft war, etwa durch einen bei der Verlegung entstandenen Knick oder durch eine scharfe Einkerbung von Einzeldrähten. Fließt ein Blitzstrom durch eine solche Stelle hindurch, so kann er an dem hier örtlich erhöhten Widerstand Schmelzwirkungen hervorrufen. Sie sind dann aber nicht die Wirkung eines Blitz-Fußpunktes, sondern die eines hohen Stromdurchganges in Längsrichtung.

Thermische Wirkungen von Blitzströmen

Die Frage nach dem Querschnitt eines Drahtes, den ein Blitz noch eben zum Schmelzen bringt, kann kaum eindeutig beantwortet werden, wenn man sich nur auf gelegentliche Beobachtungen an natürlichen Blitzen stützen kann. Gelingt es einmal, das Schmelzen eines Leiters eindeutig als Folge eines Blitzes festzustellen, so sind dessen Stärke, Form und Dauer meist nicht bekannt. Aus Versuchen mit Drähten von gestuftem Querschnitt, die an Türmen in die Ableitung eines Blitzableiters eingeschaltet wurden, scheint hervorzugehen, daß Drähte über 4 mm Dmr. nicht mehr geschmolzen werden.

Messungen mit künstlichen Stoßentladungen können darüber Genaueres sagen, weil sie nach Höhe und Verlauf

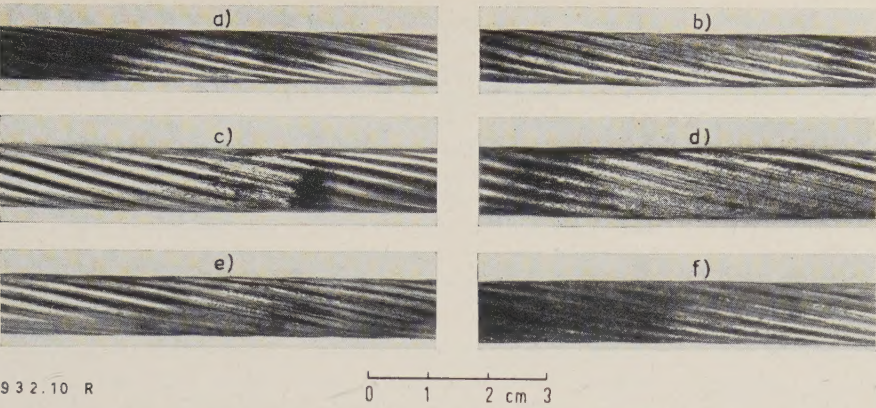


Bild 10. Fußpunktspuren von Blitzen auf Drahtseilen. Der Blitz wurde durch einen gedämpft schwingenden Strom nachgebildet.

des Stromes willkürlich eingestellt werden können. Eine Nachbildung der Wärmeentwicklung allein wäre wohl auch mit niedrigen Stromstärken, z. B. einigen 100 A bei entsprechend längerer Stromdauer, möglich. Die zusätzlichen Einflüsse der Stromverdrängung und der dynamischen Kräfte im Leiter sind aber nur bei Versuchen mit möglichst blitzähnlichem Stromverlauf erfassbar.

Am nächsten kommen dem Normalblitz aperiodische Entladungen von der allgemeinen Form

$$i = I_0 \cdot (e^{-t/\tau_1} - e^{-t/\tau_2})$$

(5)

Ein solcher Strom erzeugt in der Volumeneinheit eine Wärmemenge

$$w = \frac{W}{V} = \left(\frac{\hat{i}}{q}\right)^2 \varrho \vartheta_{wa}$$

(6)

Hierin ist

- \hat{i} der Scheitelwert des Stromes,
- q der Querschnitt des Leiters,
- ϱ der spezifische Widerstand.

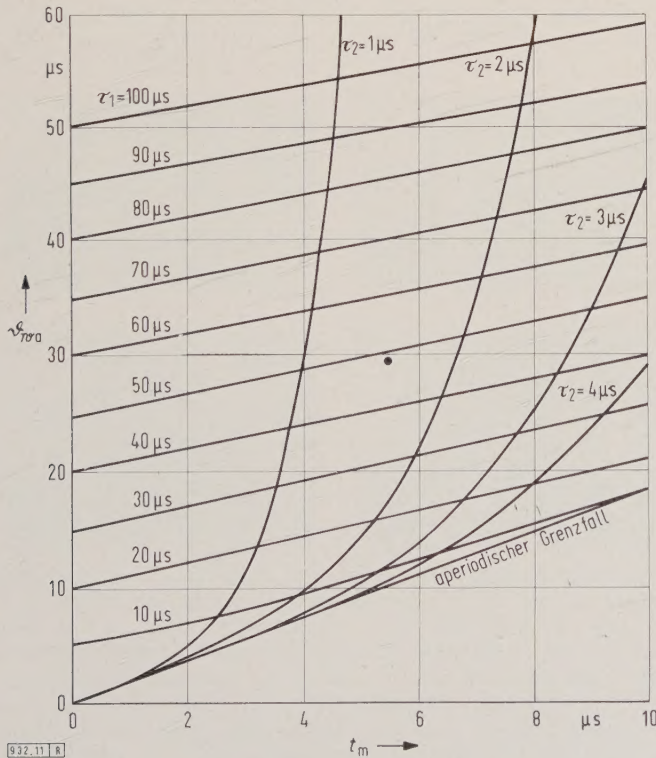


Bild 11. Energie-Scheiteldauer ϑ_{wa} für aperiodische Ströme, abhängig von der Zeit t_m bis zum Strom-Scheitelwert, von der Zeitkonstante des Rückens τ_1 und von der Zeitkonstante der Stirn τ_2 .

● Normalblitz

Teilbild	Seilwerkstoff	Querschnitt mm ²	\hat{i}_1 kA	Q As	W Ws
a	Cu	50	156	5,4	81
b			375	12	180
c	Al	95	156	5,4	81
d			375	12	180
e	St	70	156	5,4	81
f			375	12	180

Der Faktor

$$\vartheta_{wa} = \frac{1}{2(\tau_1 + \tau_2)} \cdot \left(\frac{\tau_1 - \tau_2}{e^{-t_m/\tau_1} - e^{-t_m/\tau_2}} \right)^2$$

(7)

d. i. die Energie-Scheiteldauer, ist ein für die jeweilige Form des aperiodischen Stromstoßes typischer Zeitwert, der zur Umrechnung auf andere aperiodische Stoßformen dient und aus Bild 11 abzulesen ist. Sein Wert für die Form des Normalblitzes ist z. B. $\vartheta_{wa} = 29,5 \mu s$. Die Parameter, die aus dem Stromszillogramm entnommen werden müssen, sind:

$$t_m = \frac{\ln \frac{\tau_1}{\tau_2}}{\frac{1}{\tau_2} - \frac{1}{\tau_1}}$$

die Zeit bis zum Stromscheitelwert.

Die Herstellung der aperiodischen Stoßform erfordert nun den Einbau eines verhältnismäßig hohen Dämpfungswiderstandes in den Stoßkreis. Dadurch wird die erreich-

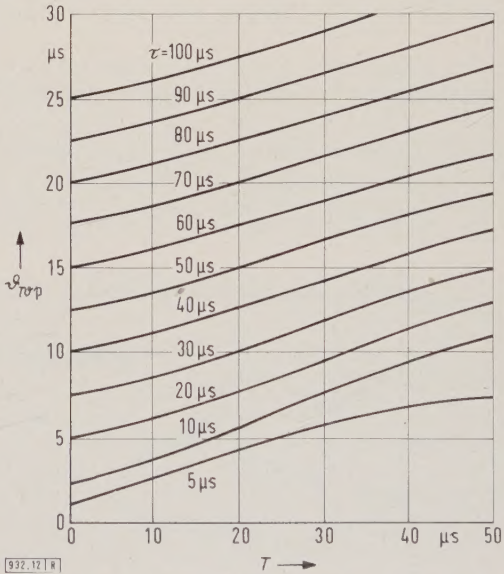


Bild 12. Energie-Scheiteldauer ϑ_{wp} für gedämpft schwingende Ströme, abhängig von der Schwingungsdauer T und der Dämpfungszeitkonstante τ .

bare Stromspitze stark begrenzt und die Energie vorwiegend in diesem Widerstand, statt im Objekt, umgesetzt. Die Anlage wird also schlecht ausgenutzt, sie kann kaum mehr leisten als die Darstellung des einfachen Normalblitzes. Verringert man den Dämpfungswiderstand dagegen wieder, wie im vorigen Abschnitt beschrieben, bis zum Übergang auf eine gedämpft-periodische Entladung, so sind stärkere Wirkungen zu erreichen, allerdings unter Verzicht auf die genaue Nachbildung der blitzähnlichen Stromform. Bei der Berechnung der Volumenenergie ist die bei solchen schwin-

Tafel 1.

1	2	3
Werkstoff	erforderliche Schmelzenergie w_e $\frac{W_s}{\text{mm}^3}$	vom Normalblitz erzeugte Wärme w in einem Draht von 1 mm ϕ $\frac{W_s}{\text{mm}^3}$
Kupfer	5,7	1,04
Aluminium	2,7	1,65
Stahl	~8	9,8

genden Entladungen doch schon merkliche Stromverdrängung im Leiter mit zu berücksichtigen. Man erhält jetzt

$$w = \frac{W}{V} = \left(\frac{\hat{i}_1}{q}\right)^2 \cdot k \varrho \cdot \vartheta_{wp}, \tag{8}$$

hierin ist

$k = R_{\sim}/R_{_}$ der Stromverdrängungsfaktor und

$$\vartheta_{wp} = \frac{\tau}{\left(2 e^{-t_m/\tau} \cdot \sin \omega t_m\right)^2} \cdot \frac{(2 \pi \tau)^2}{T^2 + (2 \pi \tau)^2}$$

die Energie-Scheiteldauer für den gedämpft-periodischen Strom. Für die Ermittlung von ϑ_{wp} dient die Kurvenschar in Bild 12.

Tafel 1 enthält nun in Spalte 2 die Energiewerte w_e , die nötig sind, um 1 mm³ Metall auf Schmelztemperatur zu erwärmen und zu verflüssigen, und in Spalte 3 die Werte w , die sich beim Durchgang des Normalblitzes durch einen Leiter von 1 mm Dmr. ergeben.

Nur im Stahldraht von 1 mm Dmr. mit seinem hohen spezifischen Widerstand übersteigt also die vom Normalblitz entwickelte Wärmemenge rechnerisch den zum völligen Schmelzen erforderlichen Wert. Es ist aber zu beachten, daß die Zahlen der Spalten 2 und 3 von Tafel 1 nicht un-

mittelbar miteinander vergleichbar sind, weil die Werte w in Spalte 3 unter der sehr vereinfachten Annahme eines temperaturunabhängigen spezifischen Widerstandes ϱ berechnet worden sind, also zu niedrig sind.

Die Versuche mit künstlichen Blitzströmen zeigen aber auch, daß noch aus einem anderen Grund die Berechnung der erzeugten Stromwärme allein keinen Maßstab dafür liefert, ob der Draht von einem Blitzstrom bestimmter Form und Höhe zerstört wird oder nicht. Die Zerstörung tritt nämlich schon bei viel niedrigeren Werten als den in Spalte 2 von Tafel 1 genannten ein. Der Draht dehnt sich durch die Erwärmung während des Stromdurchganges so stark aus, daß er Wellen- oder Zickzack-Form annimmt [12]. An den Knickstellen steigen der Widerstand und die Temperatur schneller als in den geradlinigen Stücken. Außerdem greifen an den Knickstellen nun auch elektrodynamische Kräfte an, welche die Knickstellen auseinanderreißen. So zerfällt der Draht in einzelne Stücke von wenigen Zentimeter Länge, noch ehe er die volle Schmelzenergie aufnehmen konnte. Der Vorgang läßt sich, wie schon erwähnt, nur mit Stoßströmen vom Charakter der Blitzströme darstellen, nicht aber mit Strömen geringerer Stärke und längerer Dauer.

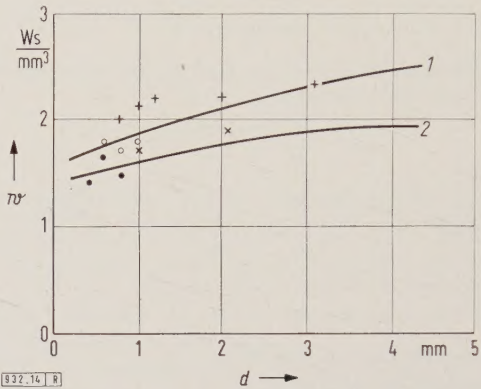


Bild 14. Volumenenergie w , die zur Zerstörung von Runddrähten nötig ist, aus Versuchen ermittelt, abhängig vom Drahtdurchmesser d .

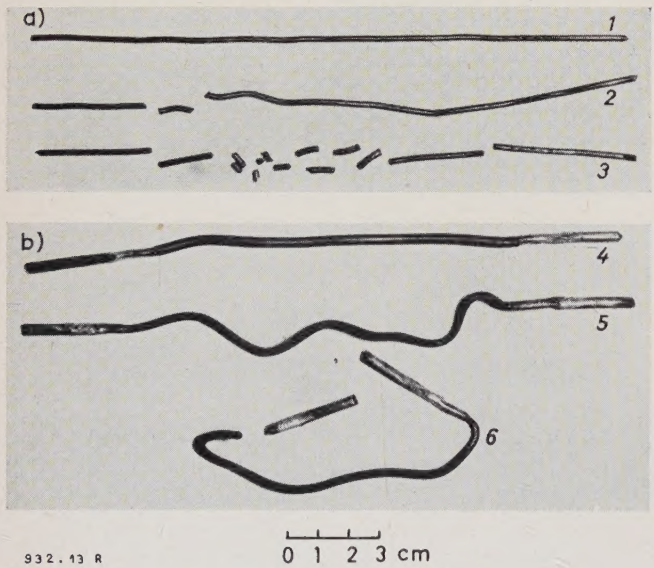


Bild 13. Zerstörung von Runddrähten durch Blitzströme. Der Blitz wurde durch einen gedämpft schwingenden Strom mit der Energie-Scheiteldauer ϑ_{wp} nachgebildet.

a) Stahldraht 2 mm Dmr.
 $\vartheta_{wp} = 7,4 \mu s$

b) Kupferdraht 3,4 mm Dmr.
 $\vartheta_{wp} = 20,5 \mu s$

Nr.	\hat{i}_1 kA	w Ws/mm ³
1	126	2,1
2	128,5	2,2
3	132,5	2,3

Nr.	\hat{i}_1 kA	w Ws/mm ³
4	324	1,36
5	378	1,70
6	395	1,80

Bild 13 zeigt einige Ergebnisse aus Versuchsreihen, die an Stahl- und Kupferdrähten verschiedener Dicke bei unterschiedlichen Strömen durchgeführt wurden. Bei steigenden Energiewerten w , denen nach dem oben Gesagten allerdings hier nur die Bedeutung von Relativzahlen zukommt, beobachtet man die verschiedenen Erscheinungsformen von der bloßen Verfärbung der Oberfläche über die Wellung und Knickung bis zum Zerfall in kleine und kleinste Stücke. Aus den Versuchsreihen wurde derjenige Wert w der Volumenenergie ermittelt, der nötig ist, um eben den Zerfall des Drahtes zu bewirken. Nach Bild 14 ist er vom Drahtquerschnitt etwas abhängig. Dies hängt offenbar damit zusammen, daß die Stauch- oder Knickfestigkeit des Runddrahtes bei Temperaturen kurz unter der Schmelztemperatur nicht dem Querschnitt proportional bleibt; ebenso dürfte die Massenträgheit bei Verformungen innerhalb so kurzer Dauer schon unterschiedlich ins Gewicht fallen.

Die Erscheinung der Stromverdrängung spielt bei aperiodischen Entladungsformen und den hier interessierenden Querschnitten noch keine große Rolle. Beim Arbeiten mit schwingenden Entladungen ist sie nicht mehr zu vernachlässigen. Sie erschwert leider den Vergleich mit dem aperiodisch verlaufenden Normalblitz, weil sie einen vom aperiodischen Stoß abweichenden Ablauf des Schmelzvorganges bewirkt. Der Draht wird jetzt nicht im ganzen Querschnitt gleichmäßig erhitzt, sondern zunächst nur in der Außenschicht. Der an der Oberfläche sofort beginnende Ver-

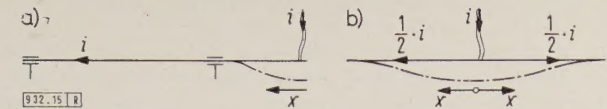


Bild 15. Verbiegung linearer Leiter durch elektrodynamische Kräfte. Erläuterungen im Text.

a) $F_x = \frac{\mu_0 i^2}{4 \pi x}$,

b) $F_x = \frac{\mu_0 i^2}{8 \pi x}$.

dampfungsprozeß schreitet dann nach innen hin weiter fort, und der so in kürzester Zeit verringerte Querschnitt leistet den verformenden dynamischen Kräften weniger Widerstand als der volle. Nach dem Durchgang eines schwingenden Stoßstromes ist der Drahtdurchmesser wesentlich kleiner. Die Abnahme betrug z. B. bei den in Bild 13 dargestellten Versuchen bis zu 25 0/0. Strenggenommen ändert sich also der in die Berechnung von v eingehende Stromverdrängungsfaktor *k* während der Dauer des Stromdurchganges allein schon durch die Verringerung des Drahtmessers und außerdem noch durch die Änderung der Leitfähigkeit und der Permeabilität mit der Temperatur. Besonders für Stahl sind darum die aus Messungen mit Schwingströmen ermittelten Werte *w* weniger zuverlässig als solche aus Versuchen mit aperiodischer Stromform.

Elektrodynamische Wirkungen im Modellversuch

Mechanische Verformungen der in der Blitzstrombahn liegenden Metallteile treten auf, wenn die Strombahn von magnetischen Feldlinien des Blitzstromes selbst gekreuzt wird. Das ist besonders in der Umgebung scharfer Knickstellen in der Strombahn der Fall. Ein frei überstehendes Drahtende oder ein Seil, in das der Blitzstrom senkrecht zur Achse eintritt (Bild 15), sind einfachste Beispiele dafür. Die wirksame, auf die Länge des Leiters bezogene Kraft *F_x* ist in jedem Augenblick proportional dem Quadrat des Stromes und nimmt mit der Entfernung *x* vom Einschlagspunkt ab. Bei 100 kA beträgt sie z. B. im Falle a) immerhin 100 kp auf 1 cm Länge unmittelbar neben der Einschlagstelle, nimmt aber in 10 cm Abstand schon bis auf 10 kp/cm ab. Ein über die Einspannstelle 15 cm weit vorragender Draht erfährt dabei eine Gesamtbelastung von 270 kp.

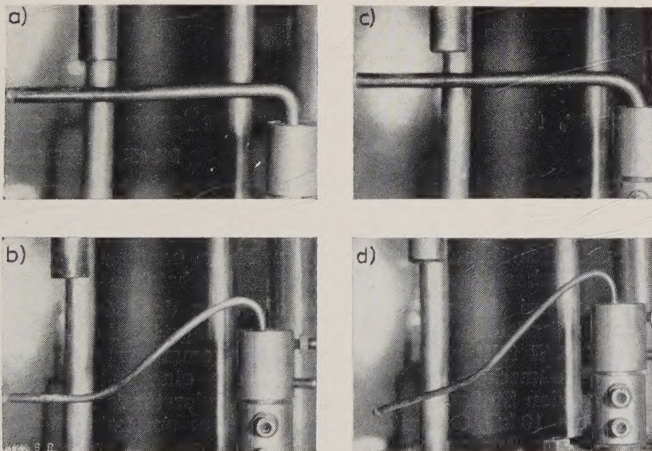


Bild 16. Bleibende Verbiegungen von einseitig waagrecht eingespannten Stäben durch einen am freien Ende von oben eintretenden Blitzstrom. Der Blitz wurde durch einen gedämpft schwingenden Strom mit der Energie-Scheiteldauer $\hat{i}_1^2 \vartheta_{wp}$ nachgebildet.

Teilbild	Werkstoff	Stabdurchmesser mm	\hat{i}_1 kA	$\hat{i}_1^2 \vartheta_{wp}$ A ² s
a	Kupfer, hart	8	372	$2,35 \cdot 10^6$
b	Kupfer, weich	4	266	$1,07 \cdot 10^6$
c	Stahl, hart	8	370	$2,20 \cdot 10^6$
d	Stahl, weich	4	258	$0,87 \cdot 10^6$

Für die bleibende Verbiegung des Drahtes sind aber nicht allein diese Kräfte maßgebend, auch die Dauer ihrer Einwirkung spielt eine Rolle. Der Vorgang ähnelt einem heftigen Schlag mit einem Hammer, wie die in Bild 16 gezeigten Beispiele erkennen lassen. Ein Maß für die Verformung ist daher der Impuls, bezogen auf die Länge des Drahtes. Er hat in der Entfernung *x* vom Blitzfußpunkt die Größe

$$J_x = \int_0^\infty F_x \cdot dt = \frac{\mu_0}{4 \pi x} \cdot \int_0^\infty i^2 dt = \frac{\mu_0}{4 \pi x} \cdot \hat{i}^2 \vartheta_{wa}.$$

(9)

Hierin ist $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}$ Vs/Am die Induktionskonstante. Als Vergleichsmaßstab beim Modellversuch erscheint auch hier wie im vorhergehenden Abschnitt das Produkt $\hat{i}^2 \vartheta_{wa}$ bzw. $\hat{i}_1^2 \vartheta_{wp}$. Es hat für den Normalblitz den Wert $3,62 \cdot 10^4$ A²s, für andere Formen und Stärken des Blitzstromes sind die Vergleichszahlen aus dem Stromscheitelwert und der Energie-Scheiteldauer errechnet und in der Legende zu Bild 16 angegeben. Dieselbe Vergleichszahl ist auch bei allen anderen dynamischen Wirkungen maßgebend. Trifft z. B. der Blitz auf Blech, so wird es rings um den Fußpunkt eingebault

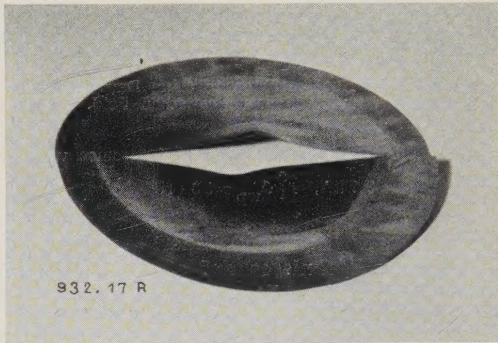


Bild 17. Einbeulung eines Kupferbleches von 0,3 mm Dicke, auf 120 mm Dmr. eingespannt, durch einen gedämpft schwingenden Strom mit dem Scheitelwert $\hat{i} = 238$ kA und der Energie-Scheiteldauer $\hat{i}_1^2 \vartheta_{wp}$; somit ist $\hat{i}_1^2 \vartheta_{wp} = 1,1 \cdot 10^6$ A²s. Das Blech wurde nachträglich in zwei Hälften geschnitten.

(Bild 17), wenn es nicht auf einer festen Unterlage aufliegt. Das Zusammenschlagen parallel liegender Drähte, die gleichsinnig vom Blitzstrom durchflossen werden, ist ebenfalls eine bekannte Erscheinung, die auf elektrodynamischer Kraftwirkung beruht (Bild 18).

Sonstige Blitzwirkungen im Modellversuch

Es gibt noch eine ganze Reihe weiterer Effekte, die im Modellversuch nachgeahmt werden können. Bei Schraub- und Klemmverbindungen verändert sich der Übergangswiderstand nach dem Durchgang eines Blitzstromes auf unterschiedliche Weise. Die Klemmstelle kann durch Verschweißen besser werden, sie kann sich aber auch durch den elektrodynamischen Ruck lockern. Beim Durchgang durch feuchtes Holz, Mauerwerk oder Beton entwickelt der Blitzstrom manchmal eine erhebliche Sprengwirkung. Sie beruht zum Teil auf der Verdampfung von Wasser, zum Teil darauf, daß der Strom in einem von ihm gebildeten Durchschlagskanal stark eingeschnürt ist, wobei Gasdrücke von vielen 1000 at entstehen. Nimmt der Strom seinen Weg durch leicht entzündliche Massen, wie Papier, Holzspähne, Stroh oder dergleichen, so kann er sie entzünden. Die Gefahr ist besonders groß in der Nähe eines Blitzfußpunktes auf Metall, da von hier aus flüssiges Metall weggespritzt wird und der Fußpunkt seine hohe Temperatur auch einige Zeit behält.

In diesen Fällen sind immer mehrere physikalische Vorgänge, wie Erhitzung, dynamische Kräfte und Gasdruck, miteinander kombiniert. Modellversuche können deshalb zu ganz verschiedenen Ergebnissen führen, wenn die modellmäßige Anordnung und der Zeitablauf des Stromes nur in

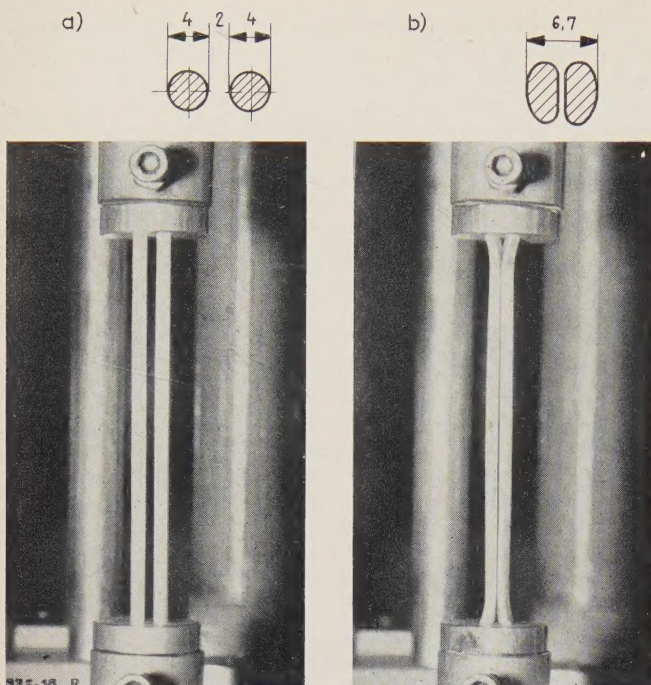


Bild 18. Verformung von Kupferdrähten je 4 mm Dmr. durch Zusammenpressen im eigenen magnetischen Feld.

a) ursprüngliche Lage,

b) nach Durchgang eines gedämpft schwingenden Stromes von

$$\hat{i}_1 = 377 \text{ kA}, \quad \hat{i}_1^2 \vartheta_{wp} = 3,3 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \text{ s.}$$

geringfügigen Einzelheiten abgeändert werden. Bei der Übertragung eines Ergebnisses auf etwas andere Situationen ist dann größte Vorsicht am Platze. Schwierigkeiten entstehen manchmal auch dadurch, daß das Modell nicht beliebig große Abmessungen erhalten kann. Lange Zuleitungen und große Schleifen in der Leitungsführung zu einem umfangreichen Modell begrenzen die erreichbare Stromstärke und verändern die Stoßform in unerwünschter Weise. Die Gestalt der Zuleitungen hat auch starken Einfluß auf Größe und Richtung der dynamischen Kräfte. Wenn diese durch die Anordnung gefälscht werden, so geht die

Modelltreue bei solchen Versuchen verloren, bei denen es besonders auf dynamische Wirkungen ankommt.

So sind dem Modellversuch auch gewisse Grenzen gesteckt. Soweit er nicht naturgetreu ausgeführt werden kann, müssen weiterhin die Erfahrungen mit zu Rate gezogen werden, die nur aus der geduldigen Beobachtung der gewaltigen Erscheinung des natürlichen Blitzes selbst gesammelt werden können.

Zusammenfassung

Durch Modellversuche mit Blitzströmen können in vielen Fällen Aussagen über die zu erwartenden Blitzwirkungen gemacht werden, wenn die Höhe und der zeitliche Verlauf des Stromes angegeben werden. Da die charakteristischen Daten natürlicher Blitze über einen weiten Bereich streuen, wird ein bestimmter Stromverlauf als Normalform zur Vergleichsbasis gewählt. Die für den Vergleich geltenden Gesetzmäßigkeiten werden entwickelt und einige Ergebnisse von Modellversuchen mitgeteilt. Die Grenze der Modellversuche mit Stoßströmen liegt nicht so sehr auf meßtechnischem Gebiet, als vielmehr in der Schwierigkeit, das Modell in seinen Abmessungen und der Stromzuführung genügend naturgetreu herzustellen.

Schrifttum

- [1] Matthias, A.: Modellversuche über Blitzeinschläge. ETZ Bd. 58 (1937) S. 881–883, 928–930 u. 973–976.
- [2] Matthias, A., u. Burkhardtmaier, W.: Der Schutzraum von Blitzfangvorrichtungen und seine Ermittlung durch Modellversuche. ETZ Bd. 60 (1939) S. 681–687 u. 720–726.
- [3] Golde, R. H.: The validity of lightning tests with scale models. J. Instn. electr. Eng., London Bd. 88, Teil 2 (1941) S. 67 ff.
- [4] Langrehr, H.: Der Schutzraum der Erdseile. AEG-Mitt. Bd. 41 (1951) S. 295–298.
- [5] Drechsler, E.: Die Blitzeinschlaggefährdung von Freileitungen im Modellversuch. Dt. Elektrotechn. Bd. 8 (1954) S. 182–187.
- [6] Müller-Hillebrand, D.: Aus der Entwicklung der Überspannungstechnik im letzten Jahrzehnt. Elektrotechn. u. Masch.-Bau Bd. 54 (1936) S. 361–366.
- [7] Harder, E. L., u. Clayton, J. M.: Lightning phenomena. Westinghouse Engineers. Juli 1951.
- [8] Baatz, H.: Überspannungen in Energieversorgungsnetzen. Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg 1956.
- [9] Berger, K.: Resultate der Blitzmessungen der Jahre 1947–1954 auf dem Monte San Salvatore. Bull. Schweiz. Elektrotechn. Ver. Bd. 46 (1955) S. 405–424.
- [10] Bellaschi, P. L.: Heavy surge currents — generation and measurement. Electr. Engng. Bd. 53 (1934) S. 86–94.
- [11] Foitzik, R.: Versuche mit großen Stoßströmen. ETZ Bd. 60 (1939) S. 89–92 u. 128–133.
- [12] Bethke, O.: Mechanische Verformungen durch elektrische Entladungen. Ann. Phys., Leipzig, Folge 5, Bd. 8 (1931) S. 475–499.

Fortschritte auf dem Gebiete der Messung sehr hoher, rasch veränderlicher Stoßspannungen

DK 621.317.32.015.33

Während sich der Scheitelwert von 1/50-µs-Vollwellen und von im Rücken abgeschnittenen genormten Stoßwellen auf weniger als $\pm 1\%$ Toleranz genau bestimmen läßt, muß man bei der Messung von auf der Stirn abgeschnittenen Stoßwellen mit einem Fehler bis zu 30% rechnen. Die vorliegende Arbeit¹⁾ behandelt zunächst die theoretisch erreichbare Genauigkeit bei derartigen Steilstoßmessungen, wobei die Gesamtmeßanordnung, Zuleitung zum Prüfling, Spannungsteiler und Verbindungskabel zum Registrierinstrument als Vierpol betrachtet werden.

Der Übertragungsfehler wird nach dem „Rechteckstoßverfahren“ durch Anwendung der Laplace-Transformation oder des Duhamel-Integrals auch für beliebigen Eingangstoß ermittelt. Zum anderen ergibt sich nach dem „Frequenzgangverfahren“ der Gesamtübertragungsfehler als Summe derjenigen Fehler, die durch die einzelnen Harmonischen des nach einer Fourierreihe zerlegten Eingangstoßes bedingt sind, bei Kenntnis des Amplitudenganges und der Phasenverschiebung der Meßanordnung. Der mathematische Nachweis wird erbracht, daß das Integral von Bromwich-Wagner der gemeinsame Ausgangspunkt beider Verfahren zur Bestimmung des Übertragungsfehlers einer Meßanordnung für Stoßwellen ist. Nach beiden Verfahren wird auch übereinstimmend für eine nach 0,5 µs in der Stirn ab-

geschnittene Welle an einem definierten kapazitiv gesteuerten Teiler ein theoretischer Übertragungsfehler von 6% berechnet. Dieses Ergebnis wird experimentell belegt, und die zur Durchführung der beiden Verfahren benötigten Eich- oder Fehlerbestimmungsgeräte werden beschrieben.

Da es bei der praktischen Ausführung der Meßanordnung für Steilstöße auf eine möglichst geringe Zeitkonstante $T = RC$ (L/R fällt nicht ins Gewicht) ankommt, werden gesteuerte ohmsche Teiler verwendet, die eine induktionsarme, an den Stoßgenerator angepaßte Widerstandswicklung von 6 bis 10 kΩ Gesamtwiderstand haben, um keine Verkürzung der Rückenhalbwertszeit bei Vollwellen zu verursachen. Der Aufbau der Widerstandswicklung ist ferner der axialen Potentialverteilung zwischen Hochspannungs- und Erdsteuerelektrode angeglichen, so daß der Einfluß von Erdkapazitäten ausgeschaltet und eine von der Aufstellung unabhängige Eichung des Nenn-Übersetzungsverhältnisses, z. B. mit einer Wheatstone-Brücke, möglich ist.

Bei der Entwicklung und Eichung von Meßanordnungen, insbesondere von Teilern für schnell veränderliche Stoßspannungen, führt das einfachere Rechteckstoßverfahren schneller und mit ausreichender Genauigkeit zum Ergebnis. Für gewisse Sonderfälle kann das umständlichere und aufwendigere Frequenzgangverfahren zusätzlich angewendet werden, wenn ein genauerer Einblick in die Verhältnisse der Meßanordnung erlangt werden soll.

Schl

¹⁾ Nach Asner, A.: Brown-Boveri-Mitt. Bd. 47 (1960) S. 239–267; 40 B., 1 Taf., 17 Qu.

Theoretische Betrachtungen über den Schutz von Blitzableitern

Von Rudolf Heinrich Golde, London*)

DK 621.316.98

Einleitung

Im Jahre 1732 veröffentlichte der Buchdrucker *Benjamin Franklin* die erste Nummer seines berühmten Almanachs des Armen Richard. Der Kalender erschien 24 Jahre lang und erreichte die für damals erhebliche Auflage von jährlich 10 000 Stück. In diesem Familienalmanach erschien dann auch 1753 die berühmte Veröffentlichung über seinen Blitzableiter. Wohl kaum jemals in der Geschichte der Wissenschaft ist eine epochemachende Entdeckung in solch einer ungewöhnlichen äußeren Form veröffentlicht worden, wohl niemals gelang einem Wissenschaftler die Beschreibung einer neuen Einrichtung in zwei kurzen Sätzen so klar, daß sie auch heute, nachdem mehr als 200 Jahre verstrichen sind, nicht besser gemacht werden könnte.

Nach *Franklin* hat der Blitzableiter zwei Aufgaben zu erfüllen, erstens das Auffangen des Blitzes, bevor er den zu schützenden Gegenstand erreicht, und zweitens das gefahrlose Ableiten des Blitzes zur Erde. Um in der Praxis die Bedürfnisse für einen wirkungsvollen Blitzschutz richtig abschätzen zu können, müssen zur ersten Aufgabe zwei Probleme geklärt werden, nämlich die Bestimmung des Bereiches, innerhalb dessen der Blitz durch einen geerdeten Leiter angezogen wird, und dann die Schätzung der zu erwartenden Anzahl von Blitzschlägen zur Erde. Zur zweiten Aufgabe gehört die Eignung der verschiedenen Bauteile des Blitzableitersystems, die Ableitung des Blitzstromes zur Erde so zu gewährleisten, daß weder eine Beschädigung an der Anlage selbst, noch ein Überschlag auf irgendwelche Metallteile innerhalb des Gebäudes möglich ist.

Dieser Aufsatz soll einen Beitrag zu den Erkenntnissen über den Schutzbereich von Blitzableitern und über die Häufigkeit von Blitzentladungen zur Erde geben.

Der Schutzbereich von Blitzableitern

Der Bereich, in dem ein senkrecht stehender Leiter Blitze anzieht, ist mit drei verschiedenen Methoden untersucht worden, nämlich durch Beobachtung, durch Versuche an Modellen und durch analytische Berechnung.

Ergebnisse aus Beobachtungen

Als Beispiel für das Beobachtungsverfahren kann man die Aufzeichnungen der deutschen Versicherungsgesellschaften über Brandfälle durch Blitzschläge in der Nähe von Kirchtürmen und anderen hohen Gebäuden heranziehen. *Walter* [1] hat aus diesen Aufzeichnungen die Feststellung abgeleitet, daß ein Blitzableiter ein anderes Gebäude wahrscheinlich nicht mehr schützen kann, wenn dessen Abstand vom Blitzableiter größer ist als die Höhe der Ableiterspitze über Erde. Jedoch wird dieser Auffassung auch gelegentlich durch einwandfrei belegte andere Beobachtungen widersprochen. Zwei Photographien mögen als Beispiel dienen. Die eine zeigt das Empire State Building in New York, den höchsten Blitzableiter der Welt, der etwa 20 m unterhalb seiner Spitze vom Blitz getroffen wurde⁴⁾. Die zweite Photographie [2] zeigt einen Einschlag in einen der hohen Maste auf dem Monte San Salvatore, wobei die Einschlagstelle ziemlich unterhalb der Mastspitze liegt. Das Beobachtungsverfahren läßt deshalb Zweifel darüber aufkommen, ob überhaupt irgendein Schutzbereich eines Blitzableiters besteht.

Modellversuche

Modellversuche, bei denen die natürliche Blitzentladung im Laboratorium durch Überschläge an langen Funkenstrecken nachgebildet wird, haben lange Zeit einen eigen-

artigen Reiz auf die Versuchstechniker ausgeübt. Hierbei ist sehr viel Erfindungsreichtum darauf verwendet worden, Versuchsbauten zu ersinnen, welche die Nachbildung von Vorgängen ähnlich denen in der freien Natur ermöglichen sollten. Die Rechtfertigung von Modellversuchen wird aus der Beobachtung hergeleitet, daß sowohl die natürliche Blitzentladung als auch die Entladung über die lange Laboratoriums-Funkenstrecke anfänglich in Form einer Leitentladung aus der Wolke bzw. aus der Hochspannungselektrode eingeleitet wird, die dann die von der Erde oder von der geerdeten Elektrode ausgehende Gegenentladung trifft. Eine nähere Untersuchung der beiden Entladungsvorgänge zeigt jedoch einen grundsätzlichen Unterschied hinsichtlich des Zeitpunktes der Entwicklung der Gegenentladung aus der geerdeten Elektrode in der Natur und im Laboratorium. Nach Ansicht des Verfassers bestimmt aber diese Gegenentladung den Anziehungsbereich von Blitzableitern.

Wie zuerst *Meek* [3] angedeutet hat und wie im nächsten Abschnitt dargelegt wird, ist die elektrische Feldstärke unter einem senkrechten geladenen Leiter in Luft umgekehrt proportional dem Quadrat der Höhe der unteren Spitze des Leiters über dem Boden. Somit ergibt sich, daß der Zeitpunkt, zu dem sich eine Gegenentladung von der Erde aus entwickelt, von der Länge der zu überbrückenden Funkenstrecke abhängt. Diese physikalische Tatsache verhindert bei Modellversuchen eine getreue Nachbildung der natürlichen Entladungserscheinungen.

Rechnerisches Verfahren

Im Hinblick auf die unzureichenden Ergebnisse der Untersuchungen über den Anziehungsbereich von Blitzableitern ist man versucht, die neuesten Erkenntnisse über Blitzentladungen zur rechnerischen Lösung des Problems heranzuziehen [4]. Im allgemeinen entwickelt sich der Blitzstrahl zur Erde in Form eines Leitstrahles aus der Wolke heraus. Beim Erreichen der Erde entsteht ein Rückschlag, wobei dieser die im leitfähigen Kanal vorhandene Ladung, die durch den Leitstrahl aufgebaut worden ist, neutralisiert.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Leitstrahles beträgt durchschnittlich $3,8 \cdot 10^7$ cm/s, also ungefähr ein Tausendstel der Geschwindigkeit, mit der sich elektrische Ladungen in der Erde fortpflanzen. Somit befinden sich jeweils die Ladungen im Leitkanal und in der Erde im Gleichgewicht, und das elektrische Feld unter dem Leitstrahl kann als quasistationär angesehen werden. Zur Berechnung der elektrischen Feldstärke unter dem Leitstrahl ist somit allein die Kenntnis der Größe der Ladung im Leitstrahl sowie ihrer räumlichen Verteilung längs der Achse des Leitstrahles notwendig.

Die Größe dieser Ladungen kann aus Aufzeichnungen über die Änderung des elektrostatischen Feldes nahe der Erdoberfläche während der Ausbildung des Leitstrahles abgeleitet werden [5]. Aus einer großen Zahl solcher Aufzeichnungen ergibt sich eine durchschnittliche Ladung von ein Coulomb (1 C). Diese Ladung muß natürlich deutlich von der Gesamtladung unterschieden werden, die von der Wolke in den Leitkanal fließt, da diese zum großen Teil zur Neutralisierung der Raumladungen bei der fortschreitenden Entwicklung des gasförmigen Entladungskanals in der Luft benötigt wird.

Betrachtungen über die Verteilung der elektrischen Ladung führen zu der Folgerung, daß die Ladungsdichte, also die auf die Länge des Kanals bezogene Ladung, an der unteren Spitze des Kanals am größten ist und exponentiell in Richtung Wolke abnimmt. Später zeigte sich, daß die zahlenmäßigen Angaben über die anziehende Wirkung von Blitzableitern wenig dadurch beeinflusst werden, daß man die exponentielle Verteilung durch eine lineare ersetzt. Dies-

*) Dr. R. H. Golde, Ph. D., D. Sc., M.I.E.E., ist Leiter der Abteilung für Überspannungen und Transformatoren der Electrical Research Association, Leatherhead, Surrey, England.

1) Nach einer persönlichen Mitteilung von K. B. McEachron.

kommt daher, daß die elektrische Feldstärke hauptsächlich von dem unteren Teil des Leitkanals bestimmt wird.

Die lotrechte Komponente \mathcal{E} der elektrischen Feldstärke in einer Ebene unter einer Punktladung Q_p in der Höhe h über dieser ist

$$\mathcal{E} = \frac{Q_p}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{2h}{(h^2 + y^2)^{3/2}} \quad (1)$$

In Gl. (1) ist

$$\epsilon_0 \approx \frac{10^{-11}}{36\pi} \cdot \frac{\text{As}}{\text{Vcm}}$$

die Influenzkonstante und y die waagerechte Entfernung zwischen dem betrachteten Punkt in der Ebene und der Projektion der Punktladung auf diese. Mit Gl. (1) und dem Gesetz für die Verteilung der Ladung im Leitkanal erhält man die lotrechte Komponente der elektrischen Feldstärke \mathcal{E} unter dem Leitkanal, der sich von der unteren Höhe h_1 bis zu der oberen Höhe h_2 ausdehnt [4], zu

$$\mathcal{E} = \frac{Q_1\beta}{4\pi\epsilon_0} \cdot 2 \int_{h_1}^{h_2} \frac{h e^{-\beta h}}{(h^2 + y^2)^{3/2}} dh \quad (2)$$

In Gl. (2) ist Q_1 die gesamte Ladung im Leitkanal und β eine Konstante für die Ladungsdichte im Kanal, für die ein Wert von $\beta = 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$ gefunden wurde. Bei Gewittern in England beträgt die Höhe h_2 ungefähr 2,5 km. Setzt man die Werte für ϵ_0 und β in Gl. (2) ein, so erhält man folgende Zahlenwertgleichung

$$\mathcal{E} = 1,8 \cdot 10^7 Q_1 \int_{h_1}^{h_2} \frac{h e^{-\beta h}}{(h^2 + y^2)^{3/2}} dh \quad (3)$$

Hierin ergibt sich die elektrische Feldstärke \mathcal{E} in Volt je Zentimeter, wenn die Ladung Q_1 in Coulomb (Ampere-sekunden), die Höhen h , h_1 , h_2 und der Abstand y in Zentimetern eingesetzt werden.

Wertet man das Integral in Gl. (3) aus, setzt $h_2 = 2,5 \text{ km} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ cm}$ und $y = 0$, so kann man hierfür die senkrechte Komponente der elektrischen Feldstärke \mathcal{E} , abhängig von der Höhe h_1 , für verschiedene Ladungen Q_1 darstellen. Das Ergebnis ist in Bild 1 wiedergegeben. Der mittleren Ladung von 1 C des Leitkanals entspricht ein Blitzschlag mittlerer Stromstärke von etwa 20 kA. Es ist einleuchtend, daß für $y = 0$ die elektrische Feldstärke auf der Erdoberfläche umgekehrt proportional zu h_1 ist; auf diese Beziehung wurde schon hingewiesen.

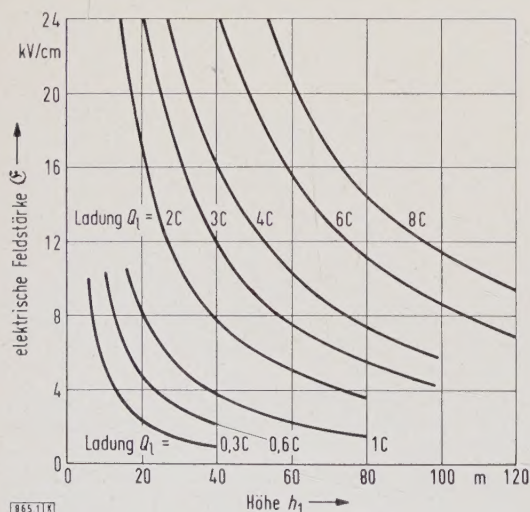


Bild 1. Senkrechte Komponente \mathcal{E} der elektrischen Feldstärke am Erdboden, abhängig von der Höhe h_1 der unteren Spitze seines elektrischen Leitkanals für verschiedene Ladungen Q_1 .

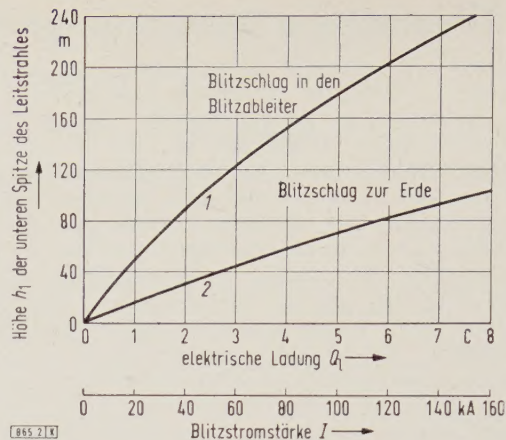


Bild 2. Höhe h_1 der unteren Spitze des Leitstrahles, bei der sich eine aufwärts gerichtete Gegenentladung entwickeln kann, abhängig von der elektrischen Ladung Q_1 und der Blitzstromstärke I , bei Blitzschlag in den Ableiter (Kurve 1) und bei Blitzschlag zur Erde (Kurve 2).

Im gleichförmigen Feld tritt der Durchschlag einer Funkenstrecke bei Atmosphärendruck im Mittel bei einer elektrischen Feldstärke von 30 kV/cm ein. Im ungleichförmigen Feld jedoch hängt die zum Durchschlag benötigte durchschnittliche Feldstärke, bezogen auf die Schlagweite, von der Länge und dem Aufbau der Funkenstrecke ab. Für die größten im Laboratorium untersuchten Schlagweiten [6] bis zu ungefähr 6 m ergibt sich aus dem Verhältnis Durchschlagsspannung zu Schlagweite eine mittlere elektrische Durchschlagsfeldstärke von 5 kV/cm. Bei einem Blitzschlag zum freien und flachen Boden liegt die elektrische Feldstärke irgendwo zwischen diesen beiden Grenzwerten. Es mag deshalb angenommen werden, daß sich eine Entladung von der Erde aus unter einem Leitkanal dann entwickelt, wenn die mittlere elektrische Feldstärke ungefähr 10 kV/cm erreicht hat. Ist einmal eine solche aufwärts gerichtete Gegenentladung eingeleitet, so wird sie durch die im Boden gebundenen Ladungen aufrechterhalten. Der abwärts gerichtete Leitstrahl und der von der Erde aus aufwärts führende Strahl ziehen sich gegenseitig stark an und leiten damit die Entladung nach Erde ein.

Wie aus Bild 1 hervorgeht, hat der tatsächliche Wert der kritischen elektrischen Feldstärke nur einen begrenzten Einfluß auf die Höhe der Spitze des Leitstrahles, bei der eine aufwärts führende Gegenentladung wahrscheinlich eingeleitet werden kann. Für eine mittlere elektrische Feldstärke von 10 kV/cm sind die aus Bild 1 abgeleiteten Werte als Kurve 2 in Bild 2 aufgetragen. Hieraus ergibt sich, daß eine vom freien Gelände aus aufwärts gerichtete Gegenentladung sich bei einer um so größeren Höhe der Spitze des Leitstrahles ausbilden sollte, wenn die Ladung im Leitkanal und damit auch die Stärke des Blitzstromes ansteigt. Für einen Blitzschlag mittlerer Stärke kann diese Höhe 20 m betragen, und selbst für sehr große Blitzströme wird sie 100 m kaum überschreiten.

Wegen der bei Blitzaufnahmen starken Überstrahlung des Filmes ist die Wahrscheinlichkeit gering, solche kurzen aufwärts gerichteten Gegenentladungen photographisch zu erfassen. Jedoch sind einige solcher Aufnahmen vorhanden, und man kann hieraus mit Befriedigung feststellen, daß die Länge der Gegenentladungen den Werten der Kurve 2 von Bild 2 nicht widerspricht.

Die bisher gewonnenen Erkenntnisse geben auch einen bemerkenswerten Beitrag zur Frage des Einflusses des Untergrundes, besonders von unterirdischen Erz- oder Wasseradern, auf die Häufigkeit von Blitzeinschlägen. Wenn sich ein Leitstrahl über einem Gebiet mit geringer Bodenleitfähigkeit entwickelt, dieses jedoch von einer bis an die Erdoberfläche reichenden geologischen Verwerfung mit hoher Leitfähigkeit geschnitten wird, so ist dort die Möglichkeit der Ausbildung einer aufwärts gerichteten Gegenentladung größer als im umgebenden Erdboden. Je-

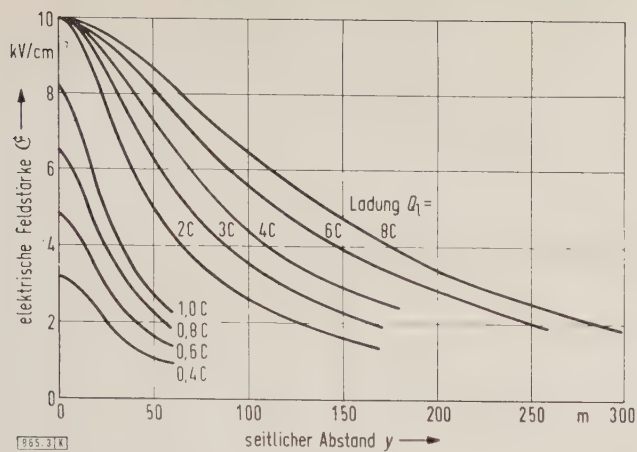


Bild 3. Senkrechte Komponente \mathcal{E} der elektrischen Feldstärke am Erdboden unter einem Leitstrahl, abhängig vom seitlichen Abstand y , für verschiedene Ladungen Q_1 und damit verschiedene Spitzenhöhen des Leitstrahles.

doch zeigt die Kurve 2 in Bild 2 deutlich, daß der Bereich, über dem die Bildung einer Gegenentladung zu erwarten ist, stark begrenzt ist. Übertriebene Vermutungen hinsichtlich der Anziehungskraft, die durch besondere geologische Gegebenheiten ausgeübt wird, entsprechen deshalb weder den Ergebnissen der vorgenannten Untersuchung, noch werden sie nach Ansicht des Verfassers durch statistisch einwandfreie Beweise gestützt. Dies wurde erst kürzlich durch eine tschechische Untersuchung bekräftigt [8].

Kurve 2 in Bild 2 zeigt die niedrigste Höhe, bis zu der sich ein Leitstrahl entwickeln kann, bevor er entweder vom Boden angezogen oder noch von einem Blitzableiter abgelenkt werden kann. Wenn daher die Werte dieser Kurve als die untere Grenze des Integrals in Gl. (3) eingesetzt werden, kann der Verlauf der elektrischen Feldstärke in Abhängigkeit vom Abstand y für verschiedene Spitzenhöhen des Leitstrahles ermittelt werden. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Bild 3 dargestellt.

Die durchschnittliche elektrische Feldstärke unter einer Gewitterwolke, aus der sich ein Leitstrahl entwickelt, beträgt einige wenige hundert Volt je Zentimeter. Andererseits ist, wie schon oben erwähnt, die im Laboratorium für große Schlagweiten ermittelte kleinste durchschnittliche elektrische Durchschlagsfeldstärke etwa 5 kV/cm; dieser Wert nimmt geringfügig mit zunehmender Schlagweite ab. Die Abstände zum Boden im letzten Zustand des Vorwachsens des Leitstrahles nach Kurve 2 in Bild 2 sind erheblich größer als die im Laboratorium untersuchten Schlagweiten. Die durchschnittliche elektrische Feldstärke zwischen der Spitze eines Leitkanals und der eines Blitzableiters, aus dem sich eine Gegenentladung entwickelt, muß daher etwas unter dem angegebenen Wert liegen, man hat daher hierfür schätzungsweise 3 kV/cm angenommen.

Die Schnittpunkte der horizontalen Linie für eine mittlere elektrische Feldstärke von 3 kV/cm in Bild 3 mit den einzelnen Kurven bestimmen somit die größte Entfernung, bis zu der erwartungsgemäß ein Blitzableiter einen Leitstrahl anziehen sollte, ehe er endgültig vom Erdboden angezogen wird. Man erkennt auch hier, daß die kritische elektrische Durchschlagsfeldstärke einen geringen Einfluß auf den Abstand y hat, da sie kaum größer als 4 kV/cm oder wesentlich kleiner als 3 kV/cm sein dürfte. Aus Bild 3 kann für einen Blitzableiter von gegebener Höhe der Schutzbereich abgeleitet werden, dieser ist in Bild 4 für einen Ableiter von 20 m Höhe dargestellt. Ähnlich kann die Höhe der Spitze des Leitstrahles bestimmt werden, bei der sich eine Gegenentladung von der Erde aus entwickelt, das Ergebnis zeigt Kurve 2 in Bild 2.

Aus Bild 2 und 3 ergeben sich mehrere interessante Folgerungen. Der Anziehungsbereich eines Blitzableiters hängt von der Stärke der Blitzentladung ab. Während sehr starke Blitzschläge in einem Bereich von annähernd 200 m

von einem 20 m hohen Blitzableiter angezogen werden können, beträgt dessen durchschnittlicher Schutzbereich jedoch nur ungefähr 40 m, d. h. zweimal die Höhe des Ableiters. Ungefähr 20 % aller Entladungen werden nicht einmal auf eine Entfernung gleich der Höhe des Ableiters angezogen. Nach dem gegenwärtigen Stand der Erfahrungen kann die Gültigkeit dieser Folgerungen nicht bewiesen werden. Es darf jedoch festgestellt werden, daß sie nicht in Widerspruch zu bereits bekannten Beobachtungen stehen. Tatsächlich sind in allen dem Verfasser bekannten Fällen, bei denen Gebäude in der Nähe von Blitzableitern getroffen wurden, die dabei verursachten Schäden so geringfügig, daß auf eine schwache Entladung geschlossen werden muß.

Eine weitere Folgerung ist noch erwähnenswert. In einem stark ungleichmäßigen Feld ist die durchschnittliche elektrische Feldstärke, bei der sich von der geerdeten Elektrode aus eine Vorentladung entwickelt, praktisch unabhängig von der Form der Elektrode. Hiermit kann als erwiesen gelten, daß es unwesentlich ist, ob ein Blitzableiter spitz oder abgerundet ist, ferner ob er senkrecht oder waagrecht angebracht ist. Große langgestreckte Gebäude können daher besser mit waagerechten als mit senkrechten Blitzableitern geschützt werden.

Ebenso läßt sich folgern, daß die Ionisation durch Spitzenentladung bei einer elektrischen Feldstärke von 3 kV/cm so stark ist, daß Ströme erheblicher Größe während des Spätstadiums einer nahen Vorentladung durch geerdete Leiter fließen. Künstliche Mittel zur Vergrößerung solcher Ströme, z. B. mittels radioaktiver Substanzen in einer Blitzableiter-spitze, dürften daher kaum einen nennenswerten Einfluß auf die Wirksamkeit eines Blitzableiters ausüben.

Häufigkeit von Blitzschlägen zur Erde

Die Frage, ob man ein Gebäude mit einer Blitzschutzanlage ausstatten soll oder nicht, muß oft nach psychologischen Gesichtspunkten beantwortet werden, zum Beispiel im Hinblick auf die Gefahr einer Panik. Grundsätzlich sollte diese Frage jedoch nach wirtschaftlichen Überlegungen entschieden werden, die oft, z. B. in Großbritannien, zum Schluß führen, daß es billiger ist, eine Versicherung gegen Blitzschäden abzuschließen, als eine Blitzschutzanlage zu bauen. Solche Entscheidungen erfordern indessen eine vorherige Kenntnis der Häufigkeit von Blitzschlägen zur Erde.

Eine Gewitterwolke besteht aus mehreren Zellen, von denen jede einem lebhaften Wechsel von Ladungserzeugung und -zerfall unterworfen ist. In einer großen Wolke können mehrere Zellen gleichzeitig wirksam sein, und besonders bei Frontgewittern können sich Blitzschläge zur Erde in einem vergleichsweise engen Gebiet häufen. Außerdem folgen Gewitter über ebenen Landstrichen üblicherweise nicht irgendwelchen vorbestimmten Wegen, und überall sind große Schwankungen in der Zahl der Gewitter im Laufe aufeinanderfolgender Jahre festzustellen. Wegen dieser Einflüsse bedarf es zu Rückschlüssen hinsichtlich der Zahl von Blitzentladungen zur Erde langer Beobachtungs-

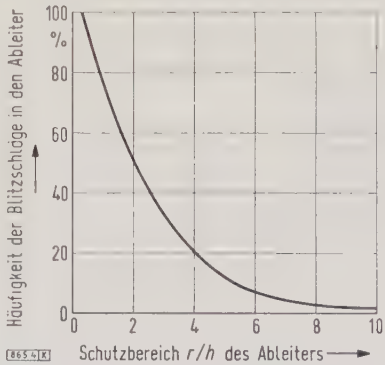


Bild 4. Häufigkeit der Blitzeinschläge in einen Blitzableiter von 20 m Höhe, abhängig vom Schutzbereich. Dieser ist ausgedrückt durch das Verhältnis des Radius r der geschützten Kreisfläche zu der Höhe h des Blitzableiters.

Tafel 1. Anzahl der Blitze nach Erde auf Grund von Beobachtungen und Messungen.

Schrifttum	Art der Beobachtung	Radius km	Land der Beobachtung	Zeit Jahre	Gewittertage im Jahr	Anzahl der Blitze nach Erde je km ² und 10 Gewittertage
[9]	visuell	0,4	USA	3	27	6,5
[9]	visuell	4,8	USA	2	33	0,4
[10]	visuell	16	Australien	2	30	0,2
x)	visuell	—	Südafrika	—	55	1,4
[11]	photoelektrisch	19	Kanada	5	26	0,4
[12]	persönliche Beobachtung	0,03	England	17	11	1,8
[13]	Spitzenentladung	5	England	1,5	14	1,3
[14]	Feldänderung	4	England	10	12	0,35
[16]	Feldänderung	16	USA	2	30	1,1
[16]	Feldänderung	—	USA	2	50	1,45
[19]	Blitzzähler	20	Nordschweden	2	5	0,6
[19]	Blitzzähler	20	Südschweden	2	9	0,5

x) Nach einer persönlichen Mitteilung von Sir Basil Schonland.

zeiten. Es stehen nur wenige Ergebnisse derartiger Beobachtungen zur Verfügung, und die folgende Übersicht beschränkt sich auf die Aufzählung der dabei angewandten verschiedenen Methoden. Diese Angaben erheben weder Anspruch auf Vollständigkeit, noch erlaubt der zur Verfügung stehende Raum kritische Bemerkungen über die verschiedenen Anschauungen. Um einen unmittelbaren Vergleich zu ermöglichen, wurden diese Angaben auf die Zahl der Blitzschläge zur Erde je Quadratkilometer und je 10 Gewittertage bezogen; sie sind in Tafel 1 zusammengestellt.

Photographische und visuelle Beobachtungen

Das zweckmäßigste Verfahren besteht in der photographischen oder visuellen Beobachtung des Blitzes bei gleichzeitiger Bestimmung der Entfernung zum Beobachtungspunkt durch Messen des Zeitraumes zwischen Blitz und Donner. Eine photographische Untersuchung dieser Art wurde in Pittsfield, USA, durchgeführt [9]. Ein besonders wertvolles Ergebnis dieser Untersuchung ist die klare Aussage über die Bedeutung der Entfernung des Beobachtungspunktes. So wurden während zweier Jahre innerhalb eines Radius von ungefähr 800 m 3,0 und 0,9 Einschläge je Quadratkilometer und je 10 Gewittertage festgestellt, wogegen für einen Radius von 4,8 km die entsprechenden Werte 0,5 und 0,4 betrugen. Andererseits wurde bei einer dreijährigen Beobachtungsdauer und einem Radius von nur 400 m eine Durchschnittszahl von 6,5 ermittelt. Eingehende Beobachtungen liegen für Transvaal von Schonland und seinen Mitarbeitern vor. Eine ähnliche Untersuchung in Australien war auf die visuelle Beobachtung beschränkt [10], während in Kanada die Kamera durch ein elektronisches Gerät mit Photozelle ersetzt war [11]. Die von diesen beiden Untersuchungen abgeleiteten Zahlen können als Mindestwerte angesehen werden.

In dem Bestreben, für England und Wales einen Durchschnittswert für die Häufigkeit der Blitzschläge zur Erde zu ermitteln, hat der Verfasser, unter Verwendung des gleichen Gedankens, eine andere Methode benutzt [12]. Es war beabsichtigt, die Beobachtungen auf ein großes Gebiet während einer langen Zeit zu erstrecken. Dabei ging man von der Voraussetzung aus, daß jedem Menschen ein Blitzeinschlag im Umkreis von ungefähr 30 m unvergeßlich in Erinnerung bleibt. Insgesamt wurden 254 Personen in zwei verschiedenen Gruppen, nämlich die Mitglieder der physikalischen Abteilung der Universität Cambridge und die Kollegen des Verfassers, einzeln befragt, dabei sind 31 Fälle festgestellt worden. Es war interessant zu beobachten, daß die Ergebnisse in beiden Gruppen ziemlich gleich waren.

Messungen der elektrischen Feldstärke

Die am Boden durch Blitzenentladungen hervorgerufenen Veränderungen der elektrischen Feldstärke hängen in verwickelter Weise von der Entfernung zwischen Entladung

und Meßort ab [5]. Grundsätzlich kann die Entfernung jedes einzelnen Blitzschlages durch Triangulation von zwei Beobachtungsstellen aus ermittelt werden. Jede dieser Stationen ist mit Rahmenantennen ausgerüstet, deren Ebenen im rechten Winkel zueinander stehen und die entsprechend an die beiden Elektrodensysteme eines Kathodenstrahl-Oszillographen angeschlossen sind. Wegen der Höhe der Kosten werden im allgemeinen solche Meßstellen täglich nur für kurze Dauer betrieben. Aber selbst wenn sie ununterbrochen in Betrieb wären, könnte man mit den hiermit gewonnenen Aufzeichnungen die Entladungen zur Erde nicht von denen von Wolke zu Wolke unterscheiden. Tatsächlich weichen diese beiden Arten von Blitzenentladungen nur dadurch voneinander ab, daß die bei Blitzschlägen zur Erde rücklaufende Hauptentladung des Kanals bei Entladungen von Wolke zu Wolke fehlt. Zum genauen Zählen der Entladungen zur Erde wären Oszillographen mit einer so großen Zeitauflösung notwendig, daß sie das Auftreten dieser Kanalentladung anzuzeigen gestatten. Andererseits kann die Gesamtzahl der Blitzenentladungen festgestellt und die Zahl der Blitzschläge zur Erde aus dem für das jeweils untersuchte Gebiet bekannten Verhältnis der Zahl der Blitzschläge von Wolke zu Wolke zu der Zahl der Blitzschläge nach Erde ermittelt werden.

Vor der Anwendung des Kathodenstrahl-Oszillographen zur Messung der Feldstärkeänderungen wurde in Großbritannien deren elektrostatische Komponente durch die Entladeströme an Spitzen aufgenommen [13]. Die dabei während drei Gewitterperioden gewonnenen Aufzeichnungen haben ein Bild über die Gesamtzahl der Blitzenentladungen ergeben, die im Gebiet von Kew innerhalb eines Radius von 5 km aufgetreten sind. Daraus wurden mit einer Schätzung der anteiligen Blitzschläge zur Erde die Zahlen in Tafel 1 abgeleitet.

Die umfassendsten statistischen Untersuchungen über die durch Blitze verursachten Änderungen des elektrostatischen Feldes wurden an der Universität Cambridge mit Hilfe eines Elektrometers durchgeführt [14]. Aus 500 derartigen Feldänderungen, die im Laufe von 10 Jahren für einen Umkreis von 4 km aufgezeichnet wurden, und aus der Erkenntnis, daß 37% aller Entladungen die Erde erreichen, wurde eine Zahl für die Häufigkeit der Blitzenentladungen zur Erde gewonnen. Eine spätere Untersuchung in Cambridge über die Ladungsbilanz an der Erdoberfläche scheint jedoch darauf hinzudeuten, daß die Zahl der Entladungen zur Erde nach der früheren Schätzung zu niedrig eingesetzt sein mag [15].

Bei einer amerikanischen Untersuchung wurde die durch Blitz in einer Antenne induzierte Spannung aufgezeichnet [16]. In Verbindung hiermit registrierte ein Gerät den Zeitunterschied zwischen Eingang der elektrischen und der akustischen Anzeige. Indem man die von zwei Meßstellen gewonnenen Ergebnisse hinsichtlich der Entfernung auswertete und nach Null extrapolierte, erhielt man Schätzwerte über die Häufigkeit von Blitzschlägen zur Erde.

Tafel 2. Anzahl der Blitze nach Erde, berechnet nach der ermittelten Zahl der Blitzeinschläge in Freileitungen.

Schrifttum	Betriebsspannung der Leitung kV	Land	Zeitraum der Beobachtung Jahre	Gewittertage im Jahr	Anzahl der Blitze nach Erde je km ² und 10 Gewittertage
[4]	220	USA	8	39	1,9
[4]	132	USA	8	42	1,9
[4]	66	USA	7	62	1,8
[4]	66	USA	7	62	1,95
[20]	88	Südrhodesien	8	54	1,35
[21]	345	USA	1	45	1,9
[22]	220	Deutschland	4	20	1,25
[22]	110	Deutschland	8	24	1,25
[22]	50	Deutschland	8	21	1,1
[22]	50	Deutschland	7	20	3,1
[23]	110	Tschechoslowakei	6	30	2,1

Blitzeinschläge in Freileitungen

Aus Messungen mittels Magnetstäbchen ist die Zahl der Blitzeinschläge mit Stromstärken über 5 kA in Freileitungen genau bekannt. Darüber hinaus können die Erkenntnisse über die anziehende Wirkung von Blitzableitern auch zur Bestimmung der Entfernung dienen, auf die Freileitungen verschiedener Bauart Blitze anziehen. Die hierfür abgeleiteten Berechnungsformeln [4] können aus Platzmangel hier nicht angegeben werden, jedoch kann mittels der vorher erörterten Betrachtungen die Häufigkeit der Blitzeinschläge nach Erde berechnet werden. Dieses Verfahren ist ursprünglich bei vier amerikanischen Hochspannungsleitungen angewendet worden, für die Ergebnisse der Messungen mit Magnetstäbchen über einen größeren Zeitraum vorlagen und die in Gebieten mit 38 bis 62 Gewittertagen im Jahr gelegen sind [4]. Es wurde festgestellt, daß sich die Zahl der Blitzschläge zur Erde proportional mit der Zahl der Gewittertage ändert und daß annähernd zwei Blitzschläge zur Erde je Quadratkilometer und je 10 Gewittertage zu erwarten sind. Diese und ähnliche Ergebnisse, die an ausgewählten Leitungen aus anderen Ländern gewonnen wurden, sind in Tafel 2 angegeben.

Zähler für Blitzentladungen

Da es sehr wichtig ist, vergleichbare Zahlen über die Häufigkeit von Blitzschlägen zur Erde zu sammeln, ergibt sich klar der Bedarf nach einem entsprechenden Zählgerät. Dieses muß so billig und so leicht zu bedienen sein, daß es in verschiedenen Gebieten der Erde eingesetzt werden kann. Solche Geräte mit grundsätzlich gleichem Meßprinzip wurden voneinander unabhängig, jedoch beinahe gleichzeitig, in der UdSSR [17] und in Großbritannien gebaut. In England wurde das Gerät nach einem Vorschlag von Pierce [18] durch die Electrical Research Association entwickelt. Der Zähler spricht bis zu Entfernungen von etwa 40 km auf positive elektrostatische Feldänderungen als Folge von negativen Blitzschlägen zur Erde an. Er spricht jedoch auch bei Blitzschlägen von Wolke zu Wolke bis zu derjenigen Entfernung an, bei der die elektrostatische Feldänderung wegen Verschwindens eines vertikalen Dipols in einer Wolke Null wird. Daher muß das Verhältnis zwischen der Zahl der Blitzschläge negativer und positiver Polarität nach Erde und zu der Zahl der Blitzschläge zwischen den Wolken bekannt sein, damit eine zahlenmäßige Auswertung möglich ist. Mehrere Hundert solcher Zählgeräte sind in verschiedenen Gegenden der Erde in Betrieb, mit ihnen werden wertvolle statistische Unterlagen gesammelt. Eine Veröffentlichung darüber soll demnächst erscheinen. Bisher wurde nur über entsprechende Untersuchungen in Skandinavien berichtet [19].

Zusammenfassung und Schlußfolgerung

Neue Erkenntnisse über die bei Blitzentladungen auftretenden Vorgänge wurden zu einer rechnerischen Überprüfung der anziehenden Wirkung von Blitzableitern verwendet. Diese Wirkung kann auf das Auftreten von Gegenentladungen zurückgeführt werden, die sich von der Erde oder von geerdeten Leitern aus entwickeln.

Die Untersuchungen lassen den Schluß zu, daß die von Blitzableitern ausgeübte Anziehung mit wachsender Blitzstromstärke zunimmt. Schätzungen über diese anziehende Wirkung auf Grund von Rechnungen scheinen mit den Erfahrungen aus Beobachtungen übereinzustimmen. Die Häufigkeit von Blitzschlägen zur Erde ist durch verschiedene Methoden abgeschätzt worden. Die eine verwendete Angaben über die Häufigkeit von Blitzschlägen in Freileitungen in Verbindung mit Schätzungen über den Bereich, in dem Blitze von Freileitungen angezogen werden. Die hierbei erhaltenen Ergebnisse sind noch nicht überprüft worden, jedoch scheint die Streuung der Werte auf die Launen der Gewittertätigkeit in den verschiedenen Jahren und den verschiedenen Teilen der Erde nicht übermäßig Rücksicht genommen zu haben. Im Sinne des weiteren Fortschrittes der Forschung ist es wünschenswert, daß ein kürzlich entwickeltes Blitzzählgerät einfacher Bauart in breiterem Umfange eingesetzt wird.

Schrifttum

[1] Walter, B.: Über Blitzschutz durch „Fernblitzableiter“. Z. techn. Phys. Bd. 14 (1933) S. 118–126.
[2] Berger, K., Messungen und Resultate der Blitzforschung der Jahre 1947–1954 auf dem Monte San Salvatore. Bull. Schweiz. elektrotechn. Ver. Bd. 46 (1955) S. 405–424.
[3] Meek, J. M.: The electric spark. J. Instn. electr. Eng. London Bd. 89 Teil 1 (1942) S. 335–357.
[4] Golde, R. H.: The frequency of occurrence and distribution of lightning flashes to transmission lines. Trans. Amer. Inst. electr. Eng. Bd. 64 (1945) S. 902–910.
[5] Bruce, C. E. R., u. Golde, R. H.: The lightning discharge. J. Instn. electr. Eng. London Bd. 88 Teil II (1941) S. 487–520.
[6] Hagenguth, J. H., u. Rohls, A. F., u. Degnan, W. J.: Sixty-cycle and impulse sparkover of large gap spacings. Trans. Amer. Inst. electr. Eng. Bd. 71 (1952) S. 455–460.
[7] Golde, R. H.: Occurrence of upward streamers in lightning discharges. Nature Bd. 160 (1947) S. 395–396.
[8] Popolansky, F.: Verteilung von Blitzeinschlägen längs Freileitungen (tschech.). Elektrotechn. Obzor Bd. 49 (1960) S. 343–349.
[9] Hagenguth, J. H.: Photographic study of lightning. Trans. Amer. Inst. electr. Eng. Bd. 66 (1947) S. 577–585.
[10] Prentice, S. A.: Thunderstorms in the Brisbane Area. J. Instn. Eng. Australia Bd. 32 (1960) S. 33–45.
[11] Ellis, H. M., u. Linck, H.: A lightning stroke component counter. CIGRE-Ber. 1958, Nr. 308.
[12] Golde, R. H.: Frequency of occurrence of lightning flashes to earth. Quart. J. roy. Meteor. Soc. Bd. 71 (1945) S. 89–109.
[13] Whipple, F. J. W., u. Scrase, F. J.: Point discharge in the electric field of the earth. Meteor. Off. Geophysical Mem. No. 68, 1936.
[14] Wormell, T. W.: Effects of thunderstorms and lightning discharges on the earth's electric field. Philos. Trans. Serie A Bd. 238 (1939) S. 249–303.
[15] Wormell, T. W.: Atmospheric electricity; some recent trends and problems. Quart. J. roy. Meteor. Soc. Bd. 79 (1953) S. 3–38.
[16] Trueblood, H. M., u. Sunde, E. D.: Lightning current observations in buried cable. Bell Syst. techn. J. Bd. 28 (1949) S. 278–302.
[17] Lotsch, B. F.: Experimentelle Untersuchungen über die Anzahl der Blitzeinschläge (russ.). Trudi Bd. 39 (1956) S. 47–52.
[18] Pierce, E. T.: The influence of individual variations in the field-changes due to lightning discharges upon the design and performance of lightning flash counters. Arch. Meteor. Geophys. u. Bioklimatologie Serie A Bd. 9 (1956) S. 78–86.
[19] Müller-Hillebrand, D., u. Johansen, O., u. Saraoja, E.: Results of lightning-counter measurements in Sweden, Norway and Finland. CIGRE-Ber. 1960, Nr. 330.
[20] Anderson, R. B., u. Jenner, R. D.: A summary of eight years of lightning investigation in Southern Rhodesia. Trans. South Afric. Inst. electr. Eng. Bd. 45 (1954) S. 215–241.
[21] Schlomann, R. H., u. Price, W. S., u. Johnson, I. B., u. Anderson, J. G.: Lightning investigation. Trans. Amer. Inst. electr. (III) Bd. 76 (1957) S. 1447–1458.
[22] Baatz, H.: Blitzeinschlag-Messungen in Freileitungen. ETZ Bd. 72 (1951) S. 191–198.
[23] Popolansky, F.: Messung von Blitzströmen an Hochspannungsleitungen (tschech.). Elektrotechn. Obzor Bd. 49 (1960) S. 117–123.

Gewitterschutz und Wirksamkeit direkter Schutzmaßnahmen in Netzen

Von Herbert Baatz, Stuttgart*)

DK 621.316.933 : 621.315.1

Einführung

Schon seit jeher suchten die Menschen sich gegen die zerstörenden Wirkungen des Blitzes zu schützen. Erst nachdem das Gewitter als elektrischer Vorgang erkannt war, konnte Franklin den Blitzableiter schaffen, der die Grundlage aller unserer Maßnahmen des Blitzschutzes bildet. Er hat die beiden Aufgaben, durch seine, wenn auch beschränkte anziehende Wirkung zu verhindern, daß der Blitz in seiner Umgebung einschlägt, und den Blitzstrom gefahrlos nach Erde abzuleiten. Alle Schutzmaßnahmen beruhen auf diesen Erkenntnissen, sei es beim Schutz von Gebäuden oder von elektrischen Netzen. Eine eingehende Kenntnis des Blitzvorganges ist notwendig, um den erforderlichen Schutz, soweit er Sachwerte betrifft, nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu bemessen. Die Forschung der letzten Jahrzehnte hat unser Wissen in grundlegenden Dingen weitgehend vorangebracht. Dennoch ist es uns noch nicht gelungen, in alle Einzelheiten einzudringen, denn die Möglichkeiten der Forschung sind vor allem dadurch beschränkt, daß die Wahrscheinlichkeit des Blitzschlages am gleichen Ort, abgesehen von sehr hohen Gegenständen, so sehr gering ist. Die meisten Erkenntnisse sind von Blitzeinschlägen in hohe Gebäude oder Masten gewonnen worden. Es ist aber noch zweifelhaft, ob diese Erkenntnisse auch in ihren Einzelheiten auf den Verlauf des Einschlages in das flache Land übertragen werden können. Die Größe der auftretenden Blitzströme ist durch zahlreiche Untersuchungen weitgehend bekannt. Dagegen sind unsere Kenntnisse über den Verlauf des Anstiegs des Blitzstromes bis auf seinen Höchstwert und des elektrischen Feldes beim Einschlag sowie über den Schutzbereich des Blitzableiters noch unzureichend. Man muß sich bisher mit Schätzungen auf Grund von Messungen, Rechnungen, Erfahrungen und Modellversuchen begnügen.

Vorgang des Blitzeinschlages

Die Forschung gibt uns die Möglichkeit, den Verlauf der Blitzentladung in seinen Grundzügen anschaulich darzustellen [1]. Aus der Wolke, in der sich Ladungszentren gebildet haben, wächst ein Entladungskanal gegen Erde vor mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von etwa $\frac{1}{1000}$ bis $\frac{1}{100}$ der Lichtgeschwindigkeit. Ist dieser Leitstrahl bis in die Nähe der Erdoberfläche vorgedrungen, so bilden sich, von dieser ausgehend, ähnlich wie bei einer Funkenstrecke Gegenentladungen aus, die dann den vollständigen Durchschlag zur Erde mit größerer als der Vorwachsungsgewindigkeit des Leitstrahles begünstigen. Die im Leitkanal verteilte Ladung kann sich nach Erde ausgleichen, was man sich durch eine von Erde aus in den Kanal hineinlaufende Wanderwelle vorstellen kann, deren Geschwindigkeit etwa $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{2}$ der Lichtgeschwindigkeit ist. Der Strom wird entsprechend der Aufbauzeit des Funkens und der Ladung im Kanal ansteigen. Es konnte bisher nicht erkannt werden, inwieweit die Erdungsverhältnisse an der Einschlagstelle einen Einfluß auf den Anstieg und Verlauf des Blitzstromes haben.

Es erhebt sich nun die Frage, wie hoch die Spannung der Spitze des Leitstrahles gegen Erde sein kann, kurz bevor der Durchschlag zur Erde eintritt. Golde nimmt an, daß die durchschnittliche elektrische Feldstärke über die gesamte Schlagweite, die zum Durchschlag führt, nur 3 kV/cm zu betragen braucht [2]. Bei einem Abstand von 50 m würde sich somit eine Spannung von 15 MV ergeben. Als Wanderwellenspannung bei Entladung eines Leiters mit ruhender Ladung, was für den Leitkanal wegen der geringen Vorwachsungsgewindigkeit gelten kann, tritt nur die halbe Span-

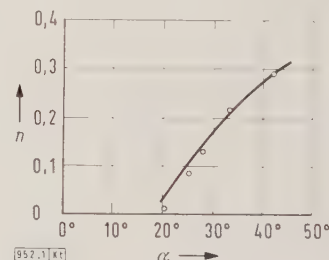
nung mit 7,5 MV auf, sofern Blitzkanal und Leitung gleichen Wellenwiderstand haben. Ist die Ladung des Leitstrahles größer, so wird der Durchschlag bereits bei größerer Höhe seiner Spitze über dem Boden eintreten, so daß sich aus der größeren Schlagweite auch eine höhere Spannung ergibt. Da auf dem Leiter eine Welle nach beiden Seiten fließt, würde sich bei einem resultierenden Wellenwiderstand von 200 Ω ein Strom von 37,5 kA und in jeder Richtung auf dem Leiter die Hälfte davon ergeben. Daß die Größenordnung dieser Werte stimmen mag, wird durch frühere amerikanische Messungen an Leitungen mit Holzmasten bewiesen. In einem Fall wurde in 6,4 km Entfernung von der Einschlagstelle eine Spannung von etwa 5 MV gemessen, und bei einer anderen Messung in 125 m Entfernung wurde der Filmrand bei 3 MV überschrieben, so daß der Scheitelwert nicht festzustellen war [1].

Diese Darstellung des Blitzeinschlages sollte gestatten, die Vorgänge beim Blitzeinschlag in einen Leiter zumindest qualitativ zu klären und sie in ihrer Größe abzuschätzen. Sie läßt auch die Maßnahmen erkennen, die notwendig sind, um einer Gefährdung durch Blitzeinschlag zu begegnen.

Schutz durch Blitzableiter

Der beste und einfachste Blitzschutz ist der gut leitende metallische Blitzableiter, der auf kürzestem Wege die Verbindung zum Blitzkanal zum Ausgleich der Ladungen herstellt; er soll einen gewissen Bereich seiner Umgebung schützen. Golde kommt auf Grund seiner Untersuchungen

Bild 1. Spezifische Zahl n der Unterbrechungen durch Gewitter je 100 km und 30 Gewittertage im Jahr bei Leitungen mit Erdseil, abhängig vom Schutzwinkel α .



zu dem Ergebnis, daß der Schutzbereich von der Größe der Ladung im Leitkanal und damit vom Blitzstrom abhängt. Den sichersten Schutz erhält man somit durch Überspannen des zu schützenden Objektes mit Seilen, die an möglichst vielen Stellen geerdet werden. Bei den Freileitungen der Elektrizitätsversorgungs-Netze geschieht dies durch über den Leiterseile liegende Erdseile, die an jedem Mast oder in Abständen von mindestens etwa 300 m geerdet werden.

Es ist nun vielfach üblich, bei Einspannleitungen nur ein Erdseil an der Mastspitze zu verlegen. Die Leiterseile hängen außerhalb an den Traversen schräg unter dem Erdseil. Messungen mit Stahlstäben zur Erfassung von Blitzeinschlägen in Leitungen, die in Deutschland bis zum Jahre 1942 durchgeführt wurden, haben ergeben, daß für Masten bis etwa 25 m Höhe innerhalb eines Schutzwinkels von 33° im allgemeinen keine Einschläge in die Leiterseile zu erwarten sind [7]. Neuere Erfahrungen mit Masten von rd. 50 m Höhe haben aber gezeigt, daß dieser Schutzwinkel für solch hohe Masten zu groß ist. In Rußland hat man gute Erfahrungen mit Schutzwinkeln von 20° gemacht, die man als ausreichend ansieht. Solche Freileitungen müssen dann mit zwei Erdseilen ausgeführt werden, diese Praxis ist im Ausland vielfach üblich. In Bild 1 ist die spezifische Zahl n der Störungen nach Untersuchungen von Burgsdorf, abhängig vom Schutzwinkel α angegeben [3]. Bild 2 zeigt Mastbilder von Höchstspannungsleitungen mit zwei Stromkreisen. Während das Mastbild 2a der deutschen Leitung weit ausladet, sind die Mastbilder 2b und 2c der amerikanischen Leitungen

*) Prof. Dr.-Ing. H. Baatz ist Vorstand der Studiengesellschaft für Hochspannungsanlagen e. V., Nellingen über Eßlingen a. N.

schmäler. Bei dem Mast nach Bild 2 c mit zwei Erdseilen beträgt der Schutzwinkel etwa 21°, bei den Masten nach Bild 2 a und 2 b etwa 35°.

Die gleichen Erwägungen gelten auch für Freiluftstationen. In den meisten Anlagen liegen die Sammelschienen am höchsten. Man überspannt sie nicht gern mit Erdseilen aus Furcht, daß diese herunterfallen können. Werden aber die Erdseile in gleicher Weise wie die Leiterseile gewartet, so sollte dieser Grund hinfällig sein. Man muß von der Ansicht abgehen, für Erdseile in Anlagen nur verzinkten Stahl zu verwenden und sie ihrem Schicksal zu überlassen. Das Erdseil erfordert die gleiche Aufmerksamkeit des Betriebes wie das Seil einer Sammelschiene, damit es betriebssicher bleibt. Zumindest sollte die Station mit Blitzableitern ausgerüstet werden. Diese können meistens an vielen Punkten auf die Gerüstkonstruktion aufgesetzt werden, sofern diese nicht selbst schon die Leiter erheblich überragt. Zieht man die bisherigen Untersuchungen über den Schutzbereich in Betracht [4], so ist anzunehmen, daß Auffangstangen von mindestens 6 m Höhe über den Leiterseilen in Abständen von etwa 25 m einen hinreichenden Schutz bieten werden. Die Wahrscheinlichkeit von Blitzeinschlägen in Anlagen ist allerdings sehr gering; tritt aber ein unmittelbarer Einschlag in ein Leiterseil ein, so ist meistens der Schaden sehr erheblich. Einer Erweiterung des Schutzbereiches von Blitzableitern durch radioaktive Werkstoffe kommt praktisch keine Bedeutung bei. Die Ionisationsströme, die aus solchen Spitzen unter dem Einfluß der Radioaktivität austreten, müßten dann zumindest in gleicher Größe liegen wie diejenigen bei einer elektrischen Feldstärke, die kurz vor dem Blitzeinschlag auftritt. Hierzu ist aber eine erhebliche Radioaktivität erforderlich, die eine Gefährdung von Lebewesen zur Folge haben kann. Eine bessere Wirksamkeit radioaktiver Blitzableiter ist bisher auch noch nicht offensichtlich nachgewiesen.

Untersuchungen mit Stoßspannungen über den Schutzbereich von Erdseilen sind früher an Modellen in großem Umfang durchgeführt worden. Ihr praktischer Wert wurde jedoch schon damals angezweifelt. Man ist heute der Ansicht, daß letzthin die Erfahrungen mit den Leitungen selbst ausschlaggebend sind [4].

Erdung des Blitzableiters

Der Blitzableiter muß auch seine zweite Aufgabe, den Blitzstrom gefahrlos nach Erde abzuleiten, erfüllen können. Ein ausreichender Querschnitt für die Ableitung des Stromes ist in Energieversorgungsanlagen stets gegeben. Es sind nur zwei Fälle bekannt geworden, bei denen Erdseile aus Stahl mit 35 mm² Querschnitt durch extrem hohe Blitzströme zersprengt worden sind. Am Blitzableiter, der in erster Annäherung als Reihenschaltung des Erdungswiderstandes R_E mit seiner Induktivität L_E betrachtet werden kann, tritt durch den Stromabfluß ein Spannungsabfall nach der Gleichung

$$U_E = R_E i + L_E \frac{di}{dt}$$

auf. Der Spannungsabfall muß möglichst klein gehalten werden, um Überschläge nach der Umgebung, besonders nach isolierten und meist unter Spannung stehenden Leitern zu vermeiden. Für die Größe und Häufigkeit der Blitzströme ist nach zahlreichen Messungen mit Stahlstäbchen eine

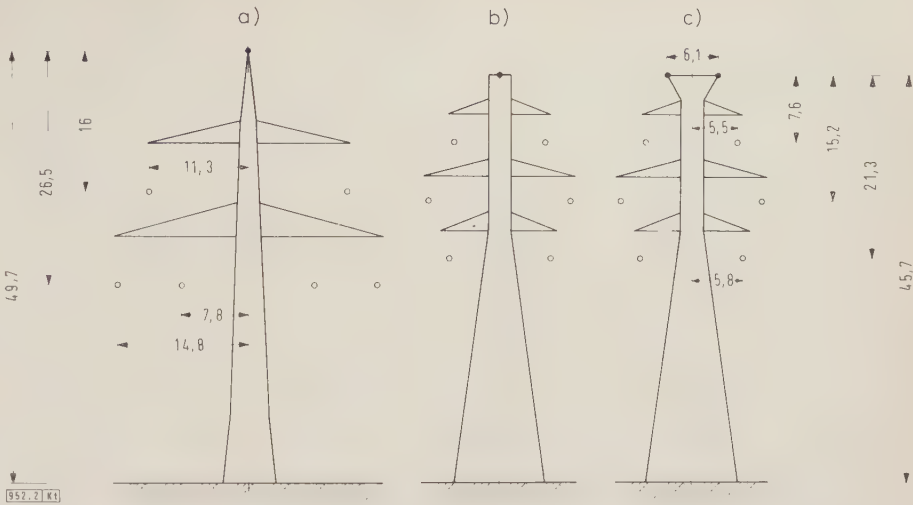


Bild 2. Mastbilder von deutschen und amerikanischen Höchstspannungsleitungen (Maße in m). a) 380-kV-Leitung des RWE, b) und c) amerikanische (AEP und OVEC) 345-kV-Leitungen. AEP = American Electric Power Company, OVEC = Ohio Valley Electric Corporation.

statistische Verteilung gefunden worden. Der Blitzstrom entspricht einer unipolaren Stoßentladung mit Stirnzeiten bis etwa 10 µs und Halbwertszeiten bis etwa 80 µs. Über den genauen Verlauf des Stirnanstieges liegen nur wenige Messungen vor, die zudem noch an sehr hohen Türmen vorgenommen worden sind. Die Steilheit kann in der Größe von 1000 kA/µs und mehr liegen.

In Bild 3 ist der Verlauf der Spannung an der Spitze eines Mastes von 12 m Höhe gegen ein isoliertes Leiterseil für einen Mast mit Rohrerder auf Grund von Messungen dargestellt [5]. Der Blitzkanal wurde dabei durch ein mit Gleichspannung aufgeladenes Leiterseil nachgebildet. Der Mast ergibt je nach seiner Höhe eine zusätzliche Induktivität von etwa 0,8 µH je Meter Mastlänge. Die Erdung des Blitzableiters mit dem Erdungswiderstand R_E soll auf kürzestem Wege mit möglichst geringem Ausbreitungswider-

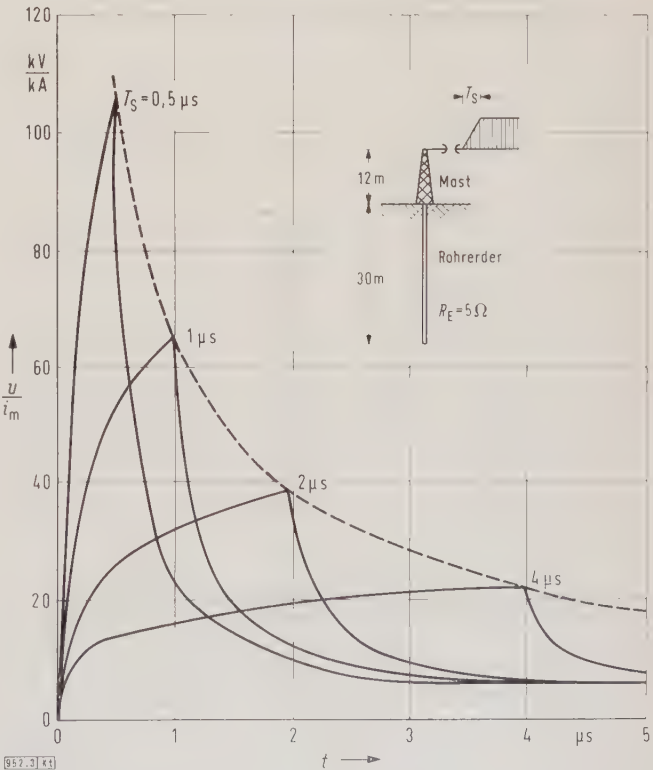


Bild 3. Auf den Blitzstrom i_m bezogene Spannung u am Mastkopf bei verschiedener Stirnzeit T_S der Stoßspannung für einen Rohrerder von 30 m Länge.

stand den Übergang zum Erdreich schaffen. An die Erdungen werden daher bestimmte Anforderungen gestellt.

Die Erfahrung hat ergeben, daß es bei Leitungen mit mittleren Masthöhen im allgemeinen ausreichend ist, die Erdung des Blitzableiters, d. h. des Mastes, nach seinem ohmschen Ausbreitungswiderstand allein zu bemessen, sofern die Abmessungen des Erders nicht etwa 20 m in radialer Richtung überschreiten, damit die Induktivität des Erders vernachlässigbar klein bleibt. Für Masten ohne Erdseil ist der Blitzstrom selbst, für Masten mit Erdseilen infolge der Verteilung des Blitzstromes auf mehrere Masten der Maststrom zugrunde zu legen.

Zweckmäßigkeit des unmittelbaren Blitzschutzes

Legt man die vereinfachte Berechnung des Spannungsabfalles am Erder eines Blitzableiters zugrunde, so kann man für Freileitungen den erforderlichen Ausbreitungswiderstand ermitteln für den Fall, daß keine rückwärtigen Überschlüge zu den Leiterseilen eintreten sollen. 50 % aller Blitzeinschläge haben Blitzströme von etwa 25 kA, und bei Leitungen mit Erdseilen weisen 50 % aller Mastströme Werte von etwa 10 kA auf. Die höchstzulässigen Ausbreitungswiderstände ergeben sich dann für die unteren Stoßpegel nach VDE 0111/2. 61 aus Tafel 1.

Tafel 1. Ausbreitungswiderstände der Masterdung, abhängig vom Stoßpegel und vom Maststrom.

Betriebsspannung kV	unterer Stoßpegel kV	Ausbreitungswiderstand bei Maststrom		
		10 kA Ω	25 kA Ω	60 kA Ω
20	125	12	5	2
30	170	17	7	3
110	550	55	22	9

Bei Mittelspannungs-Verteilungsnetzen bis 30 kV müßten niedrige Erdungswiderstände an den Masten erreicht werden, wenn wenigstens die Hälfte aller Blitzeinschläge nicht zu Störungen führen soll. Bedenkt man noch, daß die Spannweite in diesen Netzen nicht sehr groß ist, so ist der Aufwand für die Erdungen und Erdseile erheblich [6]. Da man gegen die übrigen Einschlüsse doch Schutzmaßnahmen zur Aufrechterhaltung des Betriebes treffen muß, nämlich Anordnung von Ableitern in den Stationen und Anwendung von Schaltern mit Kurzunterbrechung, so ist es wirtschaftlicher, diese Aufwendungen hierfür zu machen. Die Praxis in Deutschland hat auch dazu geführt, in Mittelspannungsnetzen auf Erdseile zu verzichten und sie erst bei Freileitungen mit Betriebsspannungen von 60 kV und darüber anzuwenden, wo sie auch wirtschaftlich werden und erheblich zur Betriebssicherheit bei Gewitter beitragen.

Hinzu kommt, daß nach früheren Untersuchungen die Häufigkeit von Blitzeinschlägen in die niedrigen Mittelspannungsleitungen nur halb so groß ist wie die Häufigkeit von Blitzeinschlägen in die höheren Leitungen von 110 kV und darüber. Sie beträgt im Durchschnitt bei Mittelspannungen 8 Einschlüsse je 100 km und Jahr, bei Hochspannungen dagegen 15 Einschlüsse je 100 km und Jahr, für Deutschland mit im Mittel etwa 20 bis 30 Gewittertagen je Jahr.

Indirekte Wirkungen des Blitzschlages

Der Blitzstrom erzeugt ein elektrisches und ein magnetisches Feld, das sich in gleicher Weise wie der Strom selbst ändert. Durch diese Felder werden auf Leitern Spannungen induziert, die um so höhere Werte erreichen, je näher der Blitzeinschlag nach Erde zur Leitung liegt. Hohe Werte erreichen diese induzierten Spannungen nur während des Stirnanstieges, sie sind damit von sehr kurzer Dauer von einigen wenigen Mikrosekunden. Auf Leitungen werden solche Wellen bei ihrer Ausbreitung sehr schnell und stark gedämpft. In Mittelspannungsnetzen können induzierte Spannungen die Ursache von Überschlüssen sein. Für Netze mit höherer Spannung sind sie ohne Bedeutung.

Nach amerikanischen Beobachtungen ist die Anzahl der Gewitterstörungen bei Leitungen mit sehr hohen Masten durch Blitzschläge in diese erheblich größer, als man bisher auf Grund der Erfahrungen an Leitungen mit niedrigeren Masten angenommen hatte. Die Ursache hierfür wird nicht allein in dem höheren Mast und damit dem größeren Anziehungsbereich gesehen, sondern vor allem in der höheren Spannung, die infolge des elektrischen Feldes und der Induktionswirkung des im Mast und in den Erdseilen abfließenden Blitzstromes auf den isolierten Leitern am getroffenen Mast auftritt. Diese Annahmen beruhen auf theoretischen Untersuchungen, die von Lundholm [8] und von Wagner [9] durchgeführt wurden. Ähnliche Vorfälle sind an den deutschen Leitungen mit sehr hohen Masten bisher nicht erkannt und beobachtet worden. In Amerika ist die Anzahl der Blitzschläge in Leitungen im Durchschnitt jährlich etwa achtmal so groß, so daß das Gewitter einen erheblich größeren Anteil an der Gesamtzahl der Störungen hat.

Wagner hat für einen Blitzschlag in den Mast die Spannungen an den Isolatorenketten für die verschiedenen Lagen der Leiter berechnet. Dabei setzt er voraus, daß der Erdungswiderstand des Mastes vernachlässigbar klein, also Null ist; die Höhe und der Wellenwiderstand des Mastes werden berücksichtigt. Die erzeugte Spannung wird aus zwei Komponenten zusammengesetzt. In einem angenäherten Verfahren wird eine Komponente nach der Wanderwellentheorie aus der Wirkung des im Mast und in den Erdseilen abfließenden Blitzstromes berechnet. Die auf diese Weise induzierten Spannungen sind praktisch nur während des Stirnanstieges des Blitzstromes von Bedeutung und sind um so höher, aber auch von um so kürzerer Dauer, je steiler die Stirn ist. Die andere Komponente der Spannung ergibt sich aus der Wirkung der Ladung des Blitzkanals über dem Mast, also des Blitzkanals selbst. Zwar sind die dadurch erzeugten Spannungen nicht so groß wie die vorhergehenden, sind aber dafür von längerer Dauer. In Bild 4 sind für den Mast nach Bild 2 b die berechneten Spannungen an der Kette des obersten Leiters für ver-

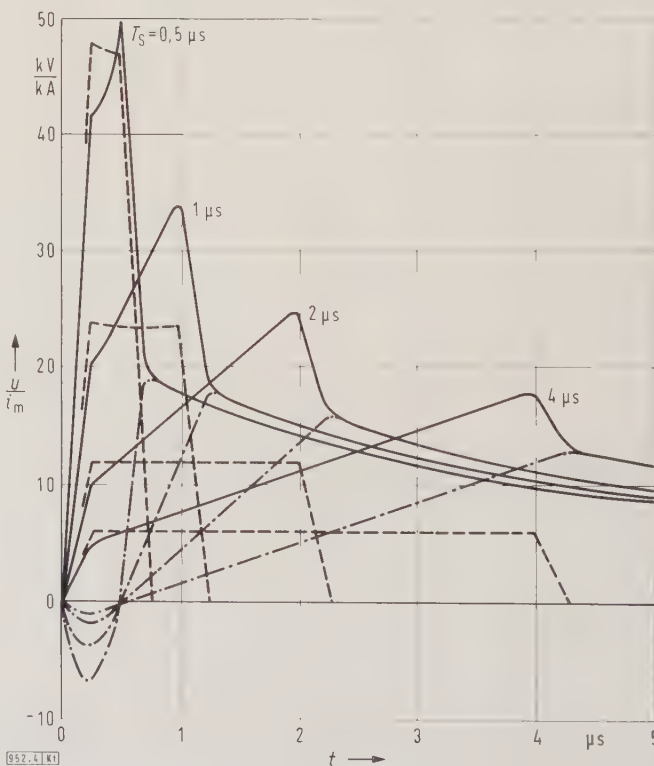


Bild 4. Erzeugte, auf den Blitzstrom i_m bezogene Spannung u am Isolator des obersten Leiterseiles bei Blitzschlag in einen Mast nach Bild 2 b.

- — — — — gesamte Spannung
- — — — — durch Strom und Ladung am Mast und Erdseil erzeugte Spannung
- · — · — durch Ladung im Blitzkanal über dem Mast erzeugte Spannung

Tafel 2. Scheitelwert der Spannung je Kiloampere Blitzstrom, abhängig von der Stirnzeit.

Stirnzeit des Blitzstromes			μs	0,5	1,0	2,0	4,0
Scheitelwert der Spannung über der Kette je Kiloampere Blitzstrom	für Mast b nach Bild 2	oberster strom-führender Leiter	kV/kA	50,9	34,6	24,7	17,7
	mit einem Erdseil	unterster strom-führender Leiter	kV/kA	37,6	24,4	16,6	11,7
	für Mast c nach Bild 2	oberster strom-führender Leiter	kV/kA	37,6	27,7	19,9	14,2
	mit zwei Erdseilen	führender Leiter					

chiedene Stirnzeiten des Blitzstromes dargestellt. Für den Scheitelwert der gesamten Spannung je Kiloampere Blitzstrom ergeben sich, abhängig von der Stirnzeit des Blitzstromes, die Werte nach Tafel 2.

Man muß nun anderseits die Kennlinie der Überschlagstoßspannung der Isolation berücksichtigen. Nimmt man eine 50 %-Überschlagstoßspannung von 1,5 MV an, wobei der Überschlag aber erst nach einigen Mikrosekunden eintritt, so wären bei 1 μs Stirnzeit Blitzströme von mehr als 50 kA erforderlich, um eine derartig hohe Spannung auf dem isolierten Leiter zu erzeugen. Überschläge durch induzierte Spannungen auf den isolierten Leitern bei Blitzeinschlag in den Mast könnten demnach nur bei großen Blitzströmen mit steiler Stirn auftreten.

Um die induzierte Spannung auf den Leitern zu vermindern, sind nach Wagner folgende Maßnahmen zweckmäßig:

1. Verlegung von zwei oder mehr Erdseilen, wodurch der Wellenwiderstand der Erdseile vermindert und der Koppelfaktor zu den Leiterseilen erhöht wird. Damit erhält man außerdem einen besseren Schutz gegen Blitzeinschläge in die Leiterseile.
2. Verminderung des Wellenwiderstandes des Mastes durch Vergrößerung seines Durchmessers.
3. Verlängerung der Mastspitze durch eine Auffangstange, wodurch der Einfluß der Ladung des Blitzkanals über dem Mast vermindert wird.

Bei seinen Berechnungen hat Wagner die Wirkung des Ausbreitungswiderstandes der Erdung selbst vernachlässigt. Nach früheren Erfahrungen und Untersuchungen kann dieser einen nicht zu vernachlässigenden Einfluß ausüben, wenn der Erde eine gewisse räumliche Ausdehnung überschreitet. Seine Induktivität ist dann nicht mehr außer acht zu lassen. Sie vergrößert die Induktivität des Mastes und damit die Laufzeit der Welle von Mastspitze bis Erde. Damit wird die erzeugte Spannung an den Isolatorenketten größer und die Wahrscheinlichkeit eines Überschlages erhöht.

Wirkungen des Blitzschlages auf das Netz bei unzureichender Abschirmung

Sofern der direkte Blitzeinschlag oder der rückwärtige Überschlag zum Leiterseil nicht vermieden werden kann, sind Schutzmaßnahmen im Netz notwendig, um weitere Durchschläge der Isolation außer denen an der Einschlagstelle zu vermeiden. Überschläge auf der Freileitung brauchen keine Schäden zur Folge zu haben. Die Lichtbögen, die durch die Betriebsspannung brennen bleiben, werden durch Erdschlußlöschung oder Abschaltung unterbrochen.

In Bild 5 ist der Spannungsverlauf auf einem Leiter schematisch dargestellt. Bei Einschlag in einen Mast oder in das Erdseil steigt die Spannung am Mastkopf gegenüber dem Leiterseil an. Dabei ist zu berücksichtigen, daß

auf dem isolierten Leiter nach den vorhergehenden Ausführungen durch das elektrische und magnetische Feld eine Spannung gleicher Polarität entsteht. Die Spannung an der Isolation ist also geringer als der Spannungsabfall $R_E i_m$ am Blitzableiter (Mast) und seiner Erdung. Erreicht nun diese Spannung die Überschlagspannung u_u der Isolation (Bild 5b), so erhält das Leiterseil entsprechend dem Zeitverlauf des Überschlages in einigen zehn Nanosekunden diese Spannung. Der weitere Verlauf der Spannung $u = R i_m$ ist dann durch den Blitzstrom i und den Erdungswiderstand R_E mit parallelgeschaltetem Wellenwiderstand Z des Leiters gegeben. Die Stirn der in die Leitung hineinlaufenden Welle ist also bis zum Wert der Überschlagspannung sehr steil und wird dann entsprechend dem weiteren Blitzstromanstieg flacher.

Trifft der Blitz unmittelbar das Leiterseil, das mit seinem Wellenwiderstand wirksam ist, so entsteht, entsprechend dem Zeitverlauf des Durchschlages vom Leitstrahl zum Leiterseil, also auch mit sehr steiler Stirn von Bruchteilen einer Mikrosekunde, eine sehr hohe Spannung von einigen Megavolt auf dem Leiterseil. Diese hohe Spannung führt natürlich am nächsten Isolator, also am nächsten Mast, zum Überschlag (Bild 5c). Die Spannung wird dann auf den durch den Blitzstrom und den Erdungswiderstand gegebenen Verlauf vermindert. Abgesehen von der Anfangsspitze

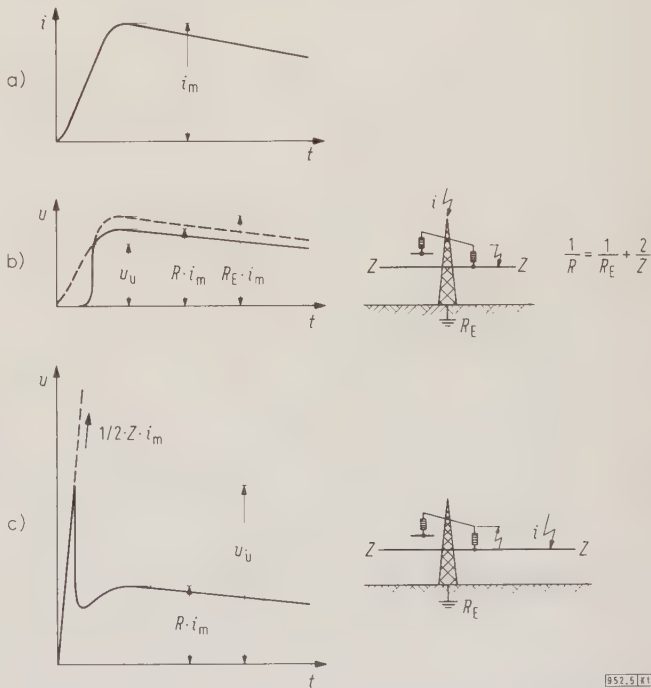


Bild 5. Verlauf von Strom und Spannung auf dem Leiter bei Blitzeinschlag. a) Grundsätzlicher Verlauf des Blitzstromes i , b) Spannungsverlauf bei Blitzeinschlag in den Mast bei rückwärtigem Überschlag, c) Spannungsverlauf bei Blitzeinschlag in ein Leiterseil mit Überschlag nach Erde.

hat die Wanderwelle auf der Leitung grundsätzlich die gleiche Form wie beim rückwärtigen Überschlag; diese Spitze wird nach kurzer Laufzeit gedämpft sein. Befinden sich aber Betriebsmittel mit festen oder flüssigen Isolierungen (z. B. Transformatoren) in der Nähe der Einschlagstelle, so kann die Wanderwellenspitze diese durchschlagen.

Die auf den Leitungen entstehenden und entlanglaufenden Wellen haben keine höhere Spannung als die Stoßspannung der Leitung, denn sie werden andernfalls durch weitere Überschläge an den der Einschlagstelle benachbarten Masten zumindest auf diese Höhe abgebaut. Bei Leitungen mit Holzmasten ist zu berücksichtigen, daß das Holz bei Stoßspannungen isolierend wirkt und somit auf solchen Leitungen Wellen mit Spannungen von über

1 MV entlanglaufen können. Im Durchschnitt rechnet man mit 300 kV je Meter Holzlänge. Von Leitungen mit Holzmasten können somit sehr hohe Überspannungen auf Stationen treffen. Häufig haben solche Leitungen zwischen den Holzmasten angeordnete Stahl- oder Stahlbetonmaste, so daß an diesen durch Überschlag die Überspannung erheblich vermindert wird. Aus diesem Grunde sollte an solchen Masten auf gute Erdungen besonderer Wert gelegt werden.

Wenn man aus wirtschaftlichen Gründen den Blitzeinschlag in das Leiterseil durch Überspannen mit Erdseilen nicht vermeiden kann, so sollte doch wenigstens vor der Station eine Schutzzone — mit einem Erdseil auf etwa 1 km Länge und niedrigen Erdungswiderständen der Maste — angebracht werden. Bei Mittelspannungen werden sich trotzdem rückwärtige Überschläge nicht vermeiden lassen, da die Erdungswiderstände der Masten nicht entsprechend niedrig bemessen werden können. Hinzu kommt, daß die Wahrscheinlichkeit eines Einschlages geringer ist als bei hohen Leitungen. Man wird daher diese Maßnahme gegebenenfalls nur auf wichtige Einspeisestationen in das Netz beschränken. Sonst wird man in Mittelspannungsnetzen auf Schutzzonen im allgemeinen verzichten.

Die Gefährdung der inneren Isolation, also der festen und flüssigen Isolierungen, der Betriebsmittel bei Naheinschlägen ist durch den verschiedenartigen Verlauf der Stoßkennlinien der inneren und äußeren Isolation bedingt. Grundsätzlich sollte die innere Isolation eine höhere Festigkeit haben als die äußere Isolation, und deren Stehspannung wiederum über der Ansprechspannung eines parallel geschalteten Ableiters innerhalb seines Schutzbereiches liegen. Nun überschneiden sich bei Bemessung der Isolation nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten die Kennlinien bei steilem Spannungsanstieg, so daß dann die innere Isolation zuerst durchschlägt. Sehr steile Anstiege mit hohen Spannungsspitzen treten bei nahen Blitzeinschlägen auf. Hinzu kommt, daß durch Reflexion der Welle an einem offenen Leitungsende, auch an einem Transformator, die Steilheit verdoppelt wird. Trifft also der Blitz das Leiterseil selbst, so ist nicht immer sichergestellt, daß die innere Isolation eines Betriebsmittels in der Nähe der Einschlagstelle durch die äußere Isolation oder einen Ableiter geschützt wird. Diese Schutzeinrichtung müßte sonst in ihrer Funkenstrecke ein homogenes Feld haben, so daß sie verzögerungsfrei anspricht. Aber auch dann bleibt die ungünstige Beanspruchung von Wicklungsteilen durch die steile Stirn des Spannungsanstieges bis zum Ansprechen der Funkenstrecke, die zu Windungsdurchschlägen führen kann. Die Stirnsteilheit kann durch parallelgeschaltete Kondensatoren verflacht werden. Der Aufwand für einen derartigen Schutz ist aber erheblich. Zweckmäßiger ist es demnach, die Leiterseile durch Erdseile zu schützen, oder man muß andernfalls einen Schaden hinnehmen. Wegen der geringen Wahrscheinlichkeit solcher Vorfälle ist der Wert der Betriebsmittel im Rahmen des Netzbetriebes dafür entscheidend, welchen Weg man beschreiten muß.

Erfahrungen im Netzbetrieb

Die deutschen Hochspannungsnetze haben durchweg bei Betriebsspannungen von 60 kV und darüber Freileitungen mit Stahlmasten und Erdseil. Meistens ist nur ein Erdseil auf der Mastspitze verlegt, nur ein Werk rüstet seine Leitungen weitgehend mit zwei Erdseilen aus. Die Leitungen für Mittelspannungsnetze mit Betriebsspannungen bis etwa 30 kV haben hingegen meistens kein Erdseil. Sie sind mit Stahlmasten, Stahlbetonmasten oder Holzmasten ausgerüstet. Innerhalb der Strecken mit Holzmasten befinden sich Abspannmaste, vielfach aus Stahl oder Stahlbeton. Blitzeinschläge in solche Leitungen werden daher meistens zu Kurzschlüssen und Auslösungen der betroffenen Leitungen führen. Abgesehen von den 220-kV-Netzen werden die übrigen Freileitungsnetze fast durchweg mit Erdschlußkompensation betrieben. Im 220-kV-Netz ist der Sternpunkt unmittelbar geerdet.

Die Störungsstatistik der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) für Hochspannungsnetze wurde in den letzten Jahren auf eine neue Grundlage der Störungserfassung gestellt [10]. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, die Statistik eingehender und unter verschiedenen Gesichtspunkten auszuwerten. Das neue Verfahren wird allerdings zunächst so lange noch gewisse Unstimmigkeiten aufweisen, bis die Anschauungen der verschiedenen Werke hinsichtlich der Beurteilung und Einordnung der einzelnen Fälle auf gleiche Grundlage gestellt sind. Besonders die Beurteilung der Ursache einer Störung und eines Schadens ist nicht leicht, da immer abzuwägen ist, ob eine Überbeanspruchung oder Minderung der Isolierung vorgelegen hat. Soweit das wohl stets erkennbare Gewitter Anlaß einer Störung ist, kann dessen Einfluß auf den Betrieb mit guter Zuverlässigkeit aus der Statistik ermittelt werden.

Für das Jahr 1958 liegt nun erstmalig ein Ergebnis dieser neuen Störungsstatistik vor. Für dieses Jahr kann eine mittlere Gewittertätigkeit von 20 bis 25 Gewittertagen angenommen werden. Tafel 3 zeigt eine Zusammenstellung der Gewitterstörungen für die Netze mit den verschiedenen Betriebsspannungen. Störungen sind alle Vorfälle, die zu einer Änderung des Betriebs-, Isolations- oder Schaltzustandes des Netzes führen, die also durch Fehler, wie Erdschlüsse aller Art, Kurzschlüsse, Abschaltungen, Ausfall der Einspeisung und dergleichen hervorgerufen werden. Eine Störung in diesem Sinne braucht nicht mit einer Unterbrechung der Energielieferung an Abnehmer verbunden zu sein. Schwierig ist die Erfassung selbsterlöschender Erdschlüsse. In Netzen mit höheren Betriebsspannungen ab 110 kV, aber auch schon für 60 kV, werden diese durch Anzeigergeräte registriert. Bei den Mittelspannungsnetzen hingegen werden sie nur sehr unvollkommen erfaßt. Sind zudem noch Rohrableiter zum Überspannungsschutz eingebaut, so wirkt sich das Ansprechen eines einzelnen Ableiters stets wie ein Erdschlußwischer auf das Netz aus.

In Tafel 3 sind die Gewitterstörungen auf je 100 km Freileitung bezogen. Dies ist notwendig, da die Gruppen der 10- und 30-kV-Netze einen großen Anteil Kabel enthalten. Es handelt sich hierbei meistens um städtische Versorgungsnetze. Da Kabel selbst durch Blitzschlag kaum getroffen werden, ist ein Vergleich nur in der vorgenommenen Weise möglich. Will man andererseits einen Vergleich mit der Gesamtzahl der Störungen durchführen, so muß man diese auf die Netzlänge beziehen.

Die Störungen durch Gewittereinwirkung werden nach Tafel 3 um so geringer, je höher die Betriebsspannung ist. Setzt man für die Spannungsgruppe 10 bis 30 kV eine mittlere Einschlagshäufigkeit von acht Blitzeinschlägen je 100 km Leitung und Jahr voraus, so ist wohl anzunehmen, daß jeder Einschlag zu einem Kurzschluß oder bleibenden Erdschluß geführt hat. Inwieweit induzierte Spannungen noch selbsterlöschende Erdschlüsse, besonders bei 10 bis 20 kV, zur Folge hatten, läßt sich nicht sagen, da diese statistisch nicht allgemein erfaßt werden. Bei Spannungen von 60 kV und darüber, bei denen sich die Blitzeinschlagshäufigkeit bis auf 15 erhöht, bieten die Erdseile mit niedrigen Erdungswiderständen der Maste einen ausgezeichneten Schutz. In diesen Netzen dürften auch die selbsterlöschenden Erdschlüsse fast vollständig erfaßt sein. Der zusätzliche Erfolg der Erdschlußlöschung tritt vor allem bei 110 kV in Erscheinung (Tafel 3, Zeile 5). In den 220-kV-Netzen mit starr geerdetem Sternpunkt ist jeder Erdschluß ein Kurzschluß und bedingt eine Abschaltung. Über die Hälfte dieser Fehler werden durch Kurzunterbrechung beseitigt (Tafel 3, Zeile 3). Diese Betriebsart scheint auch bereits vielfach in 10-kV-Freileitungsnetzen Eingang gefunden zu haben, da rd. 40 % der Kurzschlußlichtbögen durch Kurzunterbrechung gelöscht worden sind. Auf Grund dieses Erfolges ist es nicht zu verstehen, daß vor allem in den zahlreichen 20- und 30-kV-Freileitungsnetzen die Kurzunterbrechung bis dahin so wenig angewendet worden ist.

Tafel 3. Gewitterstörungen in deutschen Netzen im Jahr 1958.

Nr.	Art der Störungen	Gruppe der Betriebsspannungen	kV	10	20	30	60	110	220
		Bereich der Betriebsspannungen	kV	5 bis 11,5	12 bis 23	24 bis 35	36 bis 65	66 bis 130	131 bis 310
1	Gewitterstörungen je 100 km Freileitung	Kurzschlüsse, bleibende und selbsterlöschende Erdschlüsse		12,2	12,5	8,25	3,4	1,33	1,35
2		nur Kurzschlüsse und bleibende Erdschlüsse		11,1	11,9	7,3	2,26	0,46	1,35
3		Störungen nach Zeile 2, durch erfolgreiche Kurzunterbrechung beseitigt		4,48	1,03	0,21	0	0,04	0,7
4		Anteil der Kabellänge im Verhältnis zur Netzlänge	%	46	6	36	1,1	1,3	0
5	selbsterlöschende Erdschlüsse je 100 km Freileitung	Anlaß durch Gewitter		1,05	0,61	0,95	1,17	0,87	—
6		alle übrigen Anlässe außer Rückwirkungen aus fremdem Netz gleicher Spannung		1,39	1,42	0,98	3,71	2,55	—
7	Störungen durch Kurzschlüsse und bleibende Erdschlüsse je 100 km Netzlänge	Anlaß durch Gewitter		6,03	11,1	4,66	2,21	0,45	1,35
8		alle übrigen Anlässe außer Rückwirkungen aus fremdem Netz gleicher Spannung		8,26	7,71	3,95	1,99	0,79	1,31
9		alle Anlässe, Summe der Angaben nach Zeile 7 und 8		14,3	18,8	8,61	4,2	1,24	2,66
10		Störungen nach Zeile 9, durch erfolgreiche Kurzunterbrechung beseitigt		3,42	1,78	0,17	0	0,05	1,01
11		Anteil der Störungen ohne Unterbrechung der Energielieferung	%	29	15	38	47	66	82
12	Fehlerorte in Anlagen je 100 Anlagen	Anlaß durch Gewitter		1,45	6,94	3,98	4,84	2,61	11,9
13		alle übrigen Anlässe		2,37	3,58	8,9	22,6	31,5	64,4
14		alle Anlässe, Summe der Angaben nach Zeile 12 und 13		3,82	10,5	12,9	27,4	34,1	76,3
15		Felder in Anlagen, bezogen auf eine Anlage		2,46	1,51	3,33	5,17	5,08	5,66
16		Fehlerorte in Anlagen, je 100 Felder		1,55	6,98	3,87	5,3	6,71	13,5

Interessant ist noch der Vergleich der selbsterlöschenden Erdschlüsse aus Anlaß von Gewittern und sonstigen Anlässen in Tafel 3, Zeile 5 und 6. Wenn auch die Zahlen in den Gruppen für die Betriebsspannungen 10, 20 und 30 kV, absolut genommen, zu niedrig sein werden, so dürfte doch die Registrierung dort, wo sie durchgeführt wird, einheitlich für alle Anlässe sein. Bei den höheren Spannungen treten etwa dreimal soviel selbsterlöschende Erdschlüsse durch andere Anlässe auf als durch Gewitter. Die auf die Netzlänge bezogenen Störungen durch Gewitter liegen in annähernd gleicher Größe wie die durch die übrigen Anlässe (Tafel 3, Zeile 7 und 8). Diese sind besonders Sturm, Rauhref, Fremdschicht und fremde Einwirkungen. Auch aus Zeile 10 ersieht man, daß die Kurzunterbrechung in größerem Umfange nur in den 10- und 220-kV-Netzen Eingang gefunden hat.

Ein eindeutiger Einfluß des Gewitters auf die Anlagen läßt sich nur für die Gruppen der Betriebsspannungen 20, 60, 110 und 220 kV entnehmen (Tafel 3, Zeile 12). Die 10- und 30-kV-Gruppen enthalten zuviel Kabelnetze. Abgesehen von den Verhältnissen bei 220 kV werden die Fehlerorte durch Anlaß von Gewittern mit zunehmender Spannung geringer, wohingegen sie durch alle übrigen Anlässe (Tafel 3, Zeile 13) erheblich größer werden. Bezieht man die Fehlerorte auf die Zahl der Felder in den Anlagen, so sind die Unterschiede der spezifischen Zahlen erheblich geringer (Tafel 3, Zeile 16).

Als Gesamtergebnis läßt sich aus der Statistik erkennen, daß der Einfluß des Gewitters auf den Betrieb der Netze in der gleichen Größe liegt wie alle anderen Anlässe, die zu Störungen im Sinne der Statistik führen. Der Anteil der Störungen ohne Unterbrechung der Energielieferung nimmt mit der Betriebsspannung zu (Tafel 3, Zeile 11). Er dürfte sich bei den unteren Spannungsgruppen in den nicht vermaschten Freileitungsnetzen noch steigern lassen, wenn die Kurzunterbrechung weitgehend angewendet wird.

Die Statistik bestätigt somit die Theorie, daß Blitzeinschläge in Mittelspannungsnetzen wohl stets zum Kurz-

schluß führen. In den Hochspannungsnetzen ist infolge der Verwendung von Erdseilen bei den höheren Betriebsspannungen der Gewittereinfluß gering. Er wird sich mit wirtschaftlichen Mitteln nicht vollständig beseitigen lassen. Von der Einschlagstelle des Blitzes in die Leitung laufen auf dieser Wanderwellen zu den Stationen. Die Überspannungen sind in den Anlagen, sofern diese sich durch die Zahl der abgehenden Leitungen und durch Kabel nicht selbst schützen, durch Überspannungsschutzgeräte zu begrenzen [11]. Ein solcher Schutz ist unbedingt erforderlich in Stationen am Ende einer Leitung, da sich hier die Spannung der Welle infolge Reflexion verdoppelt. Ferner sollte er in allen Anlagen vorhanden sein, an die Leitungen ohne ausreichenden Erdseilschutz angeschlossen sind. Er ist daher vor allem in Mittelspannungsnetzen notwendig. Aber auch in Anlagen für hohe Spannungen ist es zweckmäßig, an den Transformatoren schon im Hinblick auf Schaltüberspannungen Ableiter einzubauen.

Die Schadensstatistik gibt Aufschluß über die in Zusammenhang mit Gewittereinwirkung beschädigten Betriebsmittel. Die Schadensziffern aus Anlaß von Gewittern sind, wie Tafel 4 zeigt, niedriger als die aus allen übrigen Anlässen. Dies trifft auch für Transformatoren und Wandler zu. Für die Stationen sind die Schadensziffern sogar erheblich höher.

Auf den Freileitungen gibt es, abgesehen von der Zersplitterung von Holzmasten (Tafel 4, Zeile 1) und gegebenenfalls von Schäden an Ableitern (Zeile 4), kaum Schäden durch den Blitzstrom selbst. Diese entstehen erst durch den betriebsfrequenten Fehlerstrom. Am häufigsten werden Isolatoren beschädigt, aber auch Seile und Klemmen. Hiergegen kann ein geeigneter Lichtbogenschutz Abhilfe schaffen, oder die Abschaltzeiten sind entsprechend zu verkürzen, sofern es der Relaischutz gestattet.

Die Schäden in Kabeln, Muffen und Endverschlüssen sind direkte Auswirkungen der bei Gewittereinfluß entstehenden Überspannungen, was grundsätzlich der Fall beim Durchschlag jeder inneren Isolation ist, also auch bei Transforma-

Tafel 4. Anzahl der im Jahre 1958 durch Gewittereinfluß beschädigten Betriebsmittel in deutschen Netzen.

Nr.	Anlageteil	Anlaß	Gruppe der Betriebsspannungen	kV	10	20	30	60	110	220
			Bereich der Betriebsspannungen	kV	5 bis 11,5	12 bis 23	24 bis 35	36 bis 65	66 bis 130	131 bis 310
1	in Freileitungen je 100 km Freileitungslänge	Anlaß durch Gewitter	Masten		0,53	0,51	0,43	0	0	0
2			Isolatoren und Mastschalter		1,92	2,13	3,48	1,25	1,72	0,03
3			Seile, Klemmen, Armaturen		0,73	0,88	0,69	0,89	0,61	0
4			Ableiter		0,20	0,07	0,05	0,01	—	—
5			Summe der Betriebsmittel nach Zeile 1 bis 4		3,38	3,59	4,65	2,15	0,23	0,03
6			alle übrigen Anlässe insgesamt		6,92	8,91	3,15	2,60	0,67	0,52
7	in Kabeln und Zubehör je 100 km Kabellänge	Anlaß durch Gewitter			0,49	1,26	0,28	0	0	0
8		alle übrigen Anlässe insgesamt			8,07	9,14	4,72	14,1	0,42	0
9	in Anlagen, je 100 Anlagen	Anlaß durch Gewitter	Isolatoren		0,51	1,70	2,23	0,97	0,56	0
10			Seile, Klemmen, Armaturen		0,05	0,05	0,07	0,65	0	6,78
11			Transformatoren, Wandler, Spulen, Kondensatoren		0,31	1,19	1,28	1,94	1,30	1,69
12			Ableiter		0,16	0,30	0,54	0,32	0	0
13			Schalter		0,21	0,66	0,81	0,32	0,37	5,09
14			Summe der Betriebsmittel nach Zeile 9 bis 13		1,24	3,90	4,93	4,20	2,23	13,56
15			Sicherungen und sonstige Geräte		1,13	7,27	4,12	0	0	1,69
16			Summe der Betriebsmittel nach Zeile 14 und 15		2,37	11,17	9,05	4,20	2,23	15,25
17			alle übrigen Anlässe insgesamt		5,31	15,88	23,85	31,29	34,64	113,60

toren, Wandlern, Spulen und Kondensatoren (Tafel 4, Zeile 11). Der Umfang des Schadens wird allerdings durch die Auswirkungen des Fehlerstromes bedingt sein. Ob die Ursache des Durchschlages eine Überbeanspruchung oder eine mangelhafte Isolation ist, wird sich nicht immer klar entscheiden lassen. Vielfach dürfte jedoch eine Minderung der Isolation vorliegen, denn bei entsprechender Koordinierung sollte die äußere Isolation zunächst überschlagen werden, abgesehen von der Beanspruchung mit steilen Wellen mit Stirnzeiten unter $1\mu s$. Es kommen aber auch Fälle vor, bei denen in den Wicklungen Schwingungen angeregt werden, durch die eine Überbeanspruchung der Isolation entstehen kann. Schäden an Transformatoren und Wandlern dürften sich durch den Einbau von Ableitern noch weiter vermindern lassen.

Schäden an Schaltern (Tafel 4, Zeile 13) und Sicherungen (Zeile 15) können im allgemeinen nur durch den Betriebs-Folgestrom entstehen. Wegen der großen Zahl von Sicherungsschäden ist anzunehmen, daß hierin auch durchgebrannte Sicherungen zur Abschaltung von Kurzschlüssen enthalten sind. Die Ziffern hierfür können somit nicht bewertet werden.

Schlußfolgerungen und Zusammenfassung

Der einzige wirksame unmittelbare Schutz gegen die Störungen und Schäden verursachende Wirkung des Blitzeinschlages ist der Blitzableiter, der den Blitzstrom nach Erde leitet, ohne daß von ihm selbst Überschlüsse zu dem zu schützenden Objekt, den unter Spannung stehenden Leitern, eintreten. Der Bau solcher Blitzableiter ist ein wirtschaftliches Problem unter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit eines Einschlages und seiner etwaigen Auswirkungen.

Blitzeinschläge in die Freileitungsnetze der Elektrizitätsversorgung führen zu Störungen des Betriebes und Schäden an den Betriebsmitteln, sofern nicht entsprechende Schutzmaßnahmen getroffen sind. Blitzableiter in Form von Erdseilen mit niedrigem Erdungswiderstand an den Masten sind mit vertretbarem Aufwand um so wirksamer, je höher die Betriebsspannung ist. Bei Betriebsspannungen unter 60 kV ist im allgemeinen ihr Nutzen gering, so daß vielfach auf einen direkten Schutz verzichtet wird. Führt der Blitz-

entschlag in die Freileitung zum Überschlag der Isolatoren, so entsteht ein Erdschluß oder Kurzschluß, der durch die heutigen Mittel der Schalttechnik schnell beseitigt werden kann. Sofern Schäden an den Isolatoren auftreten, werden diese nicht durch den Blitzstrom, sondern durch den bis zur Abschaltung nachfolgenden Betriebsstrom hervorgerufen. Ein den Betriebsbedingungen entsprechender Lichtbogen-schutz — kurze Abschaltzeiten oder Schutzarmaturen — ist daher zweckmäßig.

Sind in unmittelbarer Nähe eines Einschlages in ein Leiterseil Betriebsmittel mit innerer Isolation, wie Transformatoren, Wandler und dergleichen, angeschlossen, so sind diese gefährdet durch den sehr steilen und infolge der Überschlagsverzögerung von Luftstrecken hohen Anstieg der entstehenden Überspannung. Die Koordinierung der inneren und der äußeren Isolation wird zwar für die Stoßwelle $150\mu s$ bis zur Höhe des Stoßpegels durchgeführt, ist aber nicht immer auch für Spannungen mit größerer Steilheit gegeben. Anlagen mit derartigen Betriebsmitteln sollten daher einen ausreichenden Schutz durch Blitzableiter oder Erdseile, und zwar für sich selbst und für ihre nähere Umgebung gegen unmittelbare Einschläge in Leiterseile erhalten.

Die von der Einschlagstelle in eine Leitung ausgehenden Wanderwellen können für die Stationen unzulässig hohe Überspannungen sein oder durch Reflexion solche erzeugen. Gegebenenfalls sind Maßnahmen zu deren Begrenzung, z. B. durch den Einbau von Ableitern, zu treffen.

Die Statistik über die Störungshäufigkeit der Mittel- und Hochspannungsnetze durch Gewitter zeigt, daß diese mit steigender Betriebsspannung erheblich abnimmt, und zwar annähernd im Verhältnis 10 : 1. Der Anteil der Störungen ohne Unterbrechung der Energielieferung ließe sich noch erhöhen, wenn die Kurzunterbrechung mehr angewendet werden würde.

Der Blitzstrom selbst oder die durch ihn erzeugten Überspannungen auf den Leitungen führen im allgemeinen nur zu Schäden beim Durchschlag der inneren Isolation von Betriebsmitteln. Schäden durch Überschlüsse an Luftstrecken werden durch den nachfolgenden Betriebsstrom hervorgerufen. Gegen diese Wirkungen können die Netze zur

Vermeidung von Über- und Durchschlägen durch Ableiter und dort, wo deren Einbau unwirtschaftlich ist, durch Parallelfunkstrecken mit Lichtbogenarmaturen geschützt werden.

Schrifttum

- [1] Baatz, H.: Überspannungen in Energieversorgungsnetzen. Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg 1956.
- [2] Golde, R. H.: The frequency of occurrence and the distribution of lightning flashes to transmission lines. Trans. Amer. Inst. electr. Eng. Bd. 64 (1945) S. 902-910.
- [3] Burgsdorf, V. V.: Protection contre la foudre des lignes aériennes de transport d'énergie électrique et données expérimentales sur son exploitation en U.R.S.S. CIGRE-Ber. 1958, Nr. 326.
- [4] Provoost, P. G.: The shielding effect of overhead earth wires. CIGRE-Ber. 1960, Nr. 314, Anhang 2.

- [5] Baatz, H.: Der wirksame Widerstand ausgedehnter Erder bei Stoßbeanspruchung. Dt. Elektrotechn. Bd. 2 (1948) S. 185-189.
- [6] Stolte, E.: Spannungsgrenzen für die Verwendung von Erdseilen bei Freileitungen. ETZ-A Bd. 79 (1958) S. 797-800.
- [7] Baatz, H.: Blitzeinschlagmessungen in Freileitungen. ETZ Bd. 72 (1951) S. 191-198.
- [8] Lundholm, R.: Surtension produite lors d'un coup de foudre direct sur un pylone de ligne de transport d'énergie. CIGRE-Ber. 1958, Nr. 333.
- [9] Wagner, C. F., u. Hilemann, A. R.: A new approach to the calculation of the lightning performance of transmission lines. Trans. Amer. Inst. electr. Eng. (III) Bd. 79 (1960) S. 589-603.
- [10] Reiser, H.: Ergebnis der neuen VDEW-Störungs- und Schadensstatistik für die Hochspannungsnetze der Bundesrepublik und Westberlins im Jahre 1958. Elektrizitätswirtsch. Bd. 60 (1961) H. 7, S. 219 bis 231.
- [11] Baatz, H.: Überspannungsschutz. Elektrizitätswirtsch. Bd. 59 (1960) S. 58-62.

Unfälle durch Blitzschlag

Von Wilhelm Harms, Hannover*)

DK 614.825 : 340.628.5

Aus der Geschichte des Blitzes und Blitzschutzes

Mit Gewitter und Blitz verbanden sich bei den Völkern des Altertums unterschiedliche religiöse und mysteriöse Vorstellungen, die auch den vom Blitz getroffenen Menschen mit einbezogen. So glaubten die Griechen, daß ein vom Blitz Erschlagener zu Gott erhoben würde. Hingegen galt im alten Rom der Blitztod als unrein, und der Betroffene wurde am Ort des Unglücks ohne jegliche Zeremonie begraben [1].

Es ist nicht verwunderlich, daß schon die Menschen der geschichtlichen Frühzeit Mittel anwendeten, mit denen sie glaubten, der drohenden Gefahr des Blitzes entgegenwirken oder ihr entgehen zu können. Dabei hat u. a. der „Donnerkeil“ in der Form des römischen Steinbeiles um die Zeitenwende und selbst noch als Eisenaxt am Ende des 19. Jahrhunderts — über 100 Jahre nach *Franklins* Erfindung des Blitzableiters — eine bedeutende Rolle gespielt. Verständlicher erscheint eine Darstellung, wonach die Inder im 15. Jahrhundert Eisenspeere mit der Spitze nach oben in die Erde gesteckt haben sollen [2]. Zu jener Zeit mag vielleicht die Beobachtung des Elmsfeuers schon folgerichtig gewertet sein, obwohl die elektrische Natur des Blitzes damals noch völlig unbekannt war.

Die christlichen Religionen bedienten sich anderer Methoden zur Abwehr der Blitzgefahr. Im 17. und 18. Jahrhundert wurden „Gewitterheilige“, so der heilige Donatus, im Glauben an ihre wundertätige Kraft in den Kirchen aufgestellt [1]. Das konnte aber nicht verhindern, daß der Blitz selbst in den Gotteshäusern seine Opfer fand. In Hova (Schweden) verloren 24 Menschen im Jahre 1723 das Leben, und auch in anderen Kirchen sind Todesfälle aufgetreten [3].

Im Blitz wurde bis in die jüngste Zeit auch eine Art Strafe für das Böse und die Sünde gesehen. *Wilhelm Busch* hat in seinen humoristisch-satirischen Werken noch um die Jahrhundertwende die Fromme Helene und den Unheiligen Dr. Alopecius mit Blitz und Donner zur Hölle fahren lassen.

Die Kette der von *Wall* 1708, *Nollet* 1743 und *Winkler* 1746 angestellten Beobachtungen über den elektrischen Funken und den Blitz schloß sich im Juni 1752 mit dem von *Franklin* geführten Nachweis der elektrischen Natur des Blitzes. Damit war der Wandel von den kultischen Bräuchen zu technisch exakten Erkenntnissen vollzogen.

Das Experimentieren mit dem Blitz, das *Franklins* Erkenntnissen folgte, ist nicht immer gefahrlos gewesen. Pfarrer *Raulet* erhielt 1752 in Marly bei Paris einen Schlag, der an seinem Oberarm ein blaues Mal erzeugte. Prof. *Richmann*, Petersburg, wurde am 6. 8. 1753 bei Versuchen über Blitzwirkungen erschlagen [2].

Schutz durch Blitzableiter

Schon bevor *Franklin* den bekannten Drachenversuch durchführen konnte, beschäftigten sich seine Gedanken mit einem Blitzableiter. Er äußerte sich am 29. 7. 1750 wie folgt [2]: „Wenn es sich so verhält, könnte nicht unsere Kenntnis dem menschlichen Geschlecht von Nutzen sein, um Kirchen, Häuser und Schiffe vor dem Blitzschlag zu bewahren?“ Dann beschreibt er eine Blitzschutzanlage, wie sie in ihren Grundzügen noch heute gültig ist.

Der Blitzableiter verbreitete sich nach anfänglichem Mißtrauen gegen das Neue sehr schnell. Der Mensch durfte sich in den geschützten Kirchen, öffentlichen Gebäuden und Wohnhäusern ziemlich sicher fühlen, denn schon eine einfache Blitzschutzeinrichtung gab Gebäuden aus Stein und Holz einen recht guten Schutz. Den Menschen ist an ihrer persönlichen Sicherheit oft mehr gelegen als an dem Schutz ihrer Sachwerte; das ist vielerorts daran erkennbar, daß die Wohnteile landwirtschaftlicher oder gewerblicher Betriebe mit Blitzableitern versehen sind, während diese auf den Wirtschafts- und Betriebsgebäuden, die mit ihrem Inhalt sehr viel höhere Werte haben, fehlen.

Während heute der Blitzschutz der Sachwerte infolge der technischen Ausrüstung der Gebäude immer notwendiger wird, hat der Mensch in seinen Wohnstätten zunehmende Sicherheit erlangt, denn Baukonstruktionen aus Stahl sowie Installationen aus Metall bilden einen sehr vollkommenen Faradayschen Käfig auch dann, wenn kein Blitzableiter vorhanden ist. Anders liegen die Verhältnisse bei Gebäuden ohne metallene Einbauten. In ihnen sind die Menschen erheblich gefährdet, wenn ein Blitzableiter fehlt. In der Bundesrepublik Deutschland entfielen von 1952 bis 1959, also innerhalb von acht Jahren, 133 Blitzenfälle, davon 33 tödliche, auf Menschen in Gebäuden. Allein 28 Todesopfer waren in völlig metallfreien Bauten, wie Feldscheunen, Schutzhütten, alleinstehenden Kapellen, Rohbauten, zu beklagen.

Allgemeines über Blitzenfälle

Der persönliche und wirtschaftliche Nutzen durch Blitzableiter ist häufig diskutiert worden, z. B. von *Findeisen* im Jahre 1899 [4]. Die Gefahr für den Menschen ist niemals verkannt worden, und es hatten sich aus den Beobachtungen „Bauernregeln“ entwickelt, die dem Schutze dienen sollten; jedoch fehlte es an wirklichen und begründeten Erkenntnissen.

Brodersen [5] hat anscheinend als erster Blitzschäden an Personen untersucht und über 312 Fälle aus den Jahren 1884 bis 1899 aus Schleswig-Holstein berichtet. Allein 290 Unfälle, davon 19 tödliche, traten in Gebäuden ein. Soweit die Berichte erkennen lassen, waren damals kaum Baukonstruktionen oder Installationen aus Metall vorhanden; Blitzableiter fehlten in jedem Falle. Die Nutzenwendungen aus 22 Unfällen im Freien waren unvollständig und sind

*) Oberinspektor W. Harms ist Vorsitzender des Unterausschusses „Personenblitzschutz“ im Ausschuß für Blitzableiterbau (ABB).

Tafel 1. Blitzunfälle von 1952 bis 1959 in der Bundesrepublik Deutschland; ● tödlich ○ nicht tödlich.

Zahl der Unfälle durch Blitz	Geschlecht		Personenkreis										Unfallursache							
	männlich	weiblich	in der Landwirtschaft Beschäftigte		im Freien Tätige		beim Sport, Wandern, Zelten, Baden		in Gebäuden Tätige		anderweitig Beschäftigte		Körper direkt in der Blitzbahn		Schrittspannung		sekundäre Einflüsse		unbekannt	
	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○
312	390	455	247	158	129	34	37	18	33	16	34	86	157	227	23	13	148	11	66	
702		702		287		71		51		50		243		250		161		77		214

Standorte ¹⁾											
unter Bäumen und an Waldrändern		im freien Gelände		auf Straßen und Wegen		in Gebäuden mit Metall-einbauten		in Rohbauten, Hütten und dergleichen ohne Metall-einbauten		verschiedene	
●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○
76	94	80	55	39	23	5	59	28	41	84	118
170		135		62		64		69		202	

¹⁾ mit geringfügigen Abweichungen mit den Einschlagstellen übereinstimmend

einer breiteren Öffentlichkeit wohl auch nicht bekannt geworden. Nach einer summarischen Aufstellung sind von 1899 bis 1908 in Deutschland 1634 Menschen vom Blitz erschlagen worden. Später hat Preuß [6] 43 Einzelfälle geschildert, ebenfalls daraus aber keine Schlüsse für die Allgemeinheit gezogen. Die Aufzeichnungen der statistischen Ämter sind lückenhaft und geben keine verwertbaren Aufschlüsse. In der 5. Auflage des Buches „Blitzschutz“ ist erstmals zwischen dem Schutz des Menschen im Gebäude und im Freien unterschieden worden [7].

Seit 1952 hat der Ausschuß für Blitzableiterbau (ABB) daraufhin durch ehrenamtliche Mitarbeiter systematisch Unterlagen über Blitzunfälle gesammelt, um daraus Regeln für den Personenblitzschutz zu entwickeln. Einige ausländische Veröffentlichungen der letzten Jahre haben die aus den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse bestätigt und abgerundet.



Bild 1. Häufigkeit der Blitzunfälle in der Bundesrepublik Deutschland von 1952 bis 1959.

● tödliche Unfälle ○ nicht tödliche Unfälle

Tafel 1 enthält eine Übersicht über tödliche und nicht tödliche Blitzunfälle in der Bundesrepublik Deutschland mit Angabe der betroffenen Personenkreise, der Standorte und der Unfallursachen. Bild 1 zeigt eine Karte der Bundesrepublik Deutschland mit den Blitzunfällen von 1952 bis 1959.

Die Zahl der tödlichen Unfälle je 1 Mio. Einwohner und Jahr beträgt für die Bundesrepublik Deutschland mit Westberlin 0,7, in Schweden 0,7, in den Niederlanden 1,1 und in Österreich 2,7. In Schweden ist bereits seit 1940 die Tendenz der tödlichen Unfälle stark rückläufig. Die Differenzen zwischen den einzelnen Zahlen sind durch unterschiedliche Gewitterhäufigkeit in den verschiedenen Ländern zu erklären. Während in Deutschland und Österreich nur wenige Todesfälle in Gebäuden eintreten, wird aus Schweden berichtet, daß 53 % der Opfer, bezogen auf die absolute Anzahl je Jahr im Mittel von 1950 bis 1959, auf Hausbewohner entfallen [8]. Das mag daran liegen, daß auf den Gebäuden der weitläufig bebauten Landgebiete Schwedens Blitzschutzanlagen fehlen, da es sich meistens um Holzhäuser handelt, in denen sich Wasserleitungen, elektrische Installationen, meist Telefon und oft Heizungsanlagen befinden.

Blitzunfälle im Freien

Der Mensch ist in freier Natur neben anderen Unbilden des Wetters auch dem Blitzschlag anscheinend schutzlos ausgesetzt. Jährlich 35 Todesopfer im Freien gegenüber 4 Todesfällen in Gebäuden kennzeichnen die Gefahr.

In den ABB-Leitsätzen [9] wird die Gefährdung des aufrecht stehenden Menschen durch direkte Blitzeinwirkung als nur gering bezeichnet, dagegen die Schrittspannung als gefährlich angesehen. Die Untersuchungsergebnisse lehren jedoch das Gegenteil. Einer Zahl von 250 Blitzeinschlägen in den Körper stehen 161 Unfälle durch Schrittspannung gegenüber. Bei den direkten Blitzeinschlägen betrug die Zahl der Todesfälle 227, wegen zu großer Schrittspannung dagegen nur 13; dies beweist die größere Gefahr des direkten Einschlages.

Schrittspannung

Die Schrittspannungsgefahr besteht nach den ABB-Leitsätzen [7] innerhalb eines Kreises von 30 m Radius um den Einschlagspunkt. Lähmungen durch Schrittspannungen traten jedoch nach den Untersuchungen der letzten Jahre noch in einer Entfernung von 150 m von der Einschlagstelle auf. Die nicht tödlichen Schrittspannungsunfälle hinterlassen meistens keine nachhaltigen Wirkungen.

Bei den 13 vorhin erwähnten Todesfällen befanden sich die Personen 1,5 bis 8 m von der Einschlagstelle entfernt. Axiale Schrittrichtung zum Einschlagspunkt, besonders mit weiter Fußstellung, bei der ein hohes Potentialgefälle überbrückt wird, mag den tödlichen Ausgang herbeigeführt haben.

Vorübergehende Körperschäden durch Verbrennung, Lähmung und Störung der Sinnesorgane entstanden in Entfernungen zwischen 1 und 150 m von der Einschlagstelle. Daß selbst geringster Abstand zum Einschlagspunkt oft ohne nennenswerte Folgen bleibt, ist durch tangentielle Stellung auf gleicher Potentiallinie zu erklären. Die Gefahr im Spannungstrichter wird noch durch folgende Einflüsse verringert:

Der Isolationswiderstand des Schuhwerks bewirkt je nach Material und Oberflächenfeuchte eine gewisse elektrische Trennung vom Erdboden. Der Widerstand des Körpers von Fuß zu Fuß¹⁾ mit 1,5 bis 2 k Ω beträgt etwa das 8-fache des durchschnittlichen Widerstandes aller Erdbodenarten. Tangentielle Stellung des Körpers zu den Potentiallinien um den Einschlagspunkt, Schuhzeug und hoher Körperwiderstand vermindern die Gefahr der Schrittspannung.

Direkter Körpereinschlag

Direkt vom Blitz getroffene Personen kommen nur selten mit dem Leben davon. Bei einer Höhe der blitzbildenden Gewitterwolken zwischen 2 und 6 km spielt die Größe eines aufrecht im Freien sich bewegenden Menschen zwar zunächst keine Rolle. Nach § 5 der ABB-Leitsätze [9] sind Auffangleitungen so anzuordnen, daß kein Punkt einer (Dach)-Fläche mehr als 10 m von einer Auffangvorrichtung entfernt liegt. Das bedeutet für den Menschen im Freien, daß er zum gezielten Objekt für einen Blitz werden kann, der sich ihm in einem Umkreis von 10 m nähert. Von dem — wenn auch nur geringen — elektrischen Felde über seinem Kopf kann eine Fangentladung ausgehen, die den gezielten Einschlag einleitet.

Wer in offener Ebene auf dem Rade, einem Trecker oder dgl. fährt, ist erhöhter Gefahr ausgesetzt. Der Bereifung als „Isolierung“ kommt bei direktem Einschlag keinerlei Bedeutung zu. Von einem der schwersten Blitzunfälle auf Fahrzeugen wurde eine vierköpfige Reisegruppe betroffen. Sie befand sich auf zwei nebeneinander fahrenden, hochgebauten, mit Metall beschlagenen Wattenwagen zwischen Cuxhaven und der Insel Neuwerk. Durch Blitzschlag wurden 3 Personen getötet, die vierte wurde verletzt.

Einzeln stehende Bäume, Baumgruppen, Waldränder, Feldscheunen, Diemen und andere natürliche oder künstliche Erhebungen in der freien Landschaft gehören ebenfalls zu den bevorzugten Blitzeinschlagstellen. Es muß davor gewarnt werden, in ihrer Nähe während eines Gewitters Regenschutz zu suchen. Die elektrische Feldstärke kann, besonders über Einzelbäumen, recht große Werte annehmen und Einschläge einleiten [10]. Dem verbreiteten Volksglauben, daß der Buche ein gewisser Schutzwert zukommt, kann nicht gefolgt werden, die Untersuchungen widerlegen ihn eindeutig. Würth hat die Gründe, die zu dieser Auffassung geführt haben mögen, einleuchtend geschildert [11]. Bei fast allen Unfällen unter Bäumen läßt sich der direkte Einschlag in den Körper nachweisen, nur wenige gehen auf die Schrittspannung zurück.

Während die Widerstände von Baumstämmen verbreiteter Baumarten in einer Höhe von 1,5 m über dem Erdboden mit 2,3 bis 18,5 k Ω angegeben werden [10], beträgt der Widerstand des menschlichen Körpers zwischen Stirn und beiden Füßen je nach Hautfeuchtigkeit durch Schweiß oder Regen nur 1,0 bis 2,9 k Ω . In einer Höhe von 1,7 m, entsprechend der durchschnittlichen Körpergröße des Menschen, liegt der Widerstand der Baumstämme bei 2,6 bis 20,1 k Ω . Lediglich beim Stamm der Lärche wird der größte hier genannte Wert des Körperwiderstandes geringfügig unterschritten.

¹⁾ Mittelwerte von 13 Messungen des Verfassers an Personen beiderlei Geschlechts.

Der Einschlag in einen Baum, gleich welcher Art, geht auf den besseren in der Nähe des Stammes befindlichen Leiter über. Die Schälspuren am Stamm hören in Höhe des am Baum stehenden Menschen auf. Den Übergang des Blitzes vom Baum zum Menschen zeigen Strommarken am Kopf oder an den oberen Körperteilen. Bild 2 zeigt die Mütze eines tödlich Verunglückten, der mit seiner rechten Seite dem Stamm zugewendet unter einem Baum stand.

Auch am Rande von Laubbäumen mit gewölbtem Blätterdach, darunter Buchen, kann der Mensch direkt in die Strombahn einbezogen werden, wenn die Entladung über die nasse Außenschicht des Blätterwerkes abfließt und auf den Körper übergeht.

Sekundäre Wirkungen

Schließlich sind noch die wenigen Fälle zu erwähnen, bei denen nicht der Blitz selbst, sondern mittelbare Folgen zum Tode führen können. So stürzten z. B. vor Schreck ein Handwerker vom Dach und ein Spaziergänger in einen Graben. Ein Wanderer wurde von einem abgesplitterten Ast erschlagen. An zwei Todesfällen waren Elektrogeräte beteiligt, deren Isolation durch Freileitungseinschläge zerstört worden war.

Schutzmöglichkeiten im Freien

Aus den Erkenntnissen von über 700 Untersuchungen wurden Merkblätter zur Verhütung von Blitzunfällen aufgestellt. Zunächst war der Gefährdungsgrad gewisser Berufsgruppen und Personenkreise festzustellen. Dabei zeigte sich der große Anteil von in der Landwirtschaft beschäftig-



Bild 2. Mütze eines tödlich Verunglückten, der mit seiner rechten Seite dem Stamm zugewendet unter einem Baum stand.

ten Personen mit über 50 % aller Todesfälle. Diese große Unfallziffer ist auf die Gefährdung durch Außenarbeit im landwirtschaftlichen Beruf zurückzuführen. In der Rangordnung des als gefährdet anzusehenden Personenkreises folgen die in anderer Außenarbeit, besonders im Bauwesen schaffenden Arbeiter und Handwerker, schließlich die Zeltler und Wanderer (auch im Gebirge).

Die Merkblätter enthalten Ratschläge, welche die Eigenart der Berufe oder Tätigkeiten berücksichtigen, letztlich aber auf gleichen Grundnormen aufbauen. Wer im Freien vom Gewitter überrascht wird, sollte diese Ratschläge beachten. Würde jemand im voraus, daß ihm Gefahr droht, würde er nichts unterlassen, um einem Unglück vorzubeugen. Viele Menschen wären dem Blitztod entgangen, wenn ihnen die Schutzmöglichkeiten bekannt gewesen und von ihnen befolgt worden wären. Folgende Merkblätter sind vom ABB in Zusammenarbeit mit den zuständigen Fachkreisen aufgestellt und in mehr als 1,1 Mio. Exemplaren verbreitet worden:

1. Verhütung von Blitzunfällen in der Landwirtschaft [12],
2. Verhütung von Blitzunfällen bei Neubauten [13],
3. Verhütung von Blitzunfällen auf Camping- und Zeltplätzen [14].

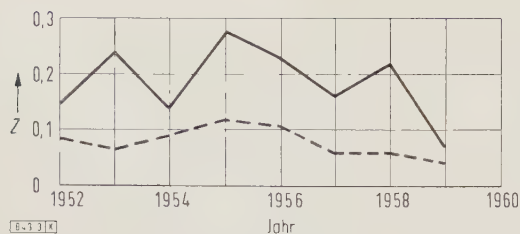


Bild 3. Auf die Zahl der Gewittertage bezogene Zahl Z der Blitzunfälle in Niedersachsen.

----- tödliche Unfälle ————— nicht tödliche Unfälle

Geplant ist ferner ein Merkblatt zur Verhütung von Blitzunfällen im Gebirge, falls hierfür bei den Beteiligten Interesse und ein wirkliches Bedürfnis besteht. Ob für weitere Berufszweige oder Personengruppen Hinweise auf Schutzmöglichkeiten notwendig werden, bleibt abzuwarten.

Bild 3 zeigt die auf die Zahl der Gewittertage bezogene Zahl der Unfälle in Niedersachsen für die Jahre 1952 bis 1959. Dort treten auf Grund von Angaben aus den einzelnen Regierungsbezirken 100 bis 120 Gewittertage im Jahr auf. Aus dem Rückgang der Blitzunfälle in Niedersachsen (Bild 3) ist der Erfolg der dort empfohlenen Schutzmaßnahmen klar ersichtlich. Für das gesamte Bundesgebiet lassen sich entsprechende Werte nicht angeben, weil zuverlässige Unterlagen über die Gewitterhäufigkeit fehlen. Eine stark rückläufige Tendenz ist bei den Todesfällen im Freien in Schweden zu beobachten. Sie sind so gering geworden, daß demgegenüber die Todesopfer in Häusern stark in den Vordergrund treten [8].

Zusammenfassung

Es wird eine Übersicht über die von 1952 bis 1959 in der Bundesrepublik Deutschland durch Blitz aufgetretenen tödlichen und nicht tödlichen Unfälle, sowie über den be-

troffenen Personenkreis, die Einschlagstellen und die Unfallursachen gegeben. Eine Karte der Bundesrepublik läßt die Häufigkeit der Blitzunfälle von 1952 bis 1959 und die bevorzugten Einschlagsgebiete erkennen. Die meisten Blitzunfälle treten im Freien auf. Direkter Einschlag in den Körper ist fast immer tödlich. Die Schrittspannung ist weniger gefährlich. Der Ausschuß für Blitzableiterbau (ABB) hat in 8 Jahren 702 Blitzunfälle untersucht und ihre Ergebnisse in einer Reihe von Merkblättern verwertet, die der Verhütung von Blitzunfällen dienen.

Schrifttum

- [1] Rieth, A.: Der Blitz in der bildenden Kunst. Ernst Heimeran-Verlag, München 1953.
- [2] Urbanitzky, A. v.: Blitz. Elektrotechn. Bibl. A. Hartleben's Verlag, Leipzig 1886.
- [3] Müller-Hillebrand, D.: Åskan och Kyrkan. T. Pastoratsförvaltning Bd. 14 (1960) H. 7, S. 14-16.
- [4] Findeisen, F.: Blitzschutz der Gebäude. Verlag Julius Springer, Berlin 1899.
- [5] Brodersen, H.: Blitzschläge der Jahre 1884 bis 1899. Druck Schmidt und Klaunig, Kiel 1909.
- [6] Preuß, W.: Gewitterschäden, 5. Folge. Selbstverlag, Stettin 1934.
- [7] Blitzschutz, 5. Aufl. Hrsgb. Ausschuß für Blitzableiterbau. Verlag Wilh. Ernst & Sohn, Berlin 1951.
- [8] Müller-Hillebrand, D.: Åskans Skadeverkningar. Reprinted Brand-skydd, Stockholm 1960.
- [9] Blitzschutz, 6. Aufl. Hrsgb. Ausschuß für Blitzableiterbau. Verlag Wilh. Ernst & Sohn, Berlin 1955.
- [10] Hösl, A.: Vorgänge beim Blitzeinschlag in Gebäude und in einzelstehende Bäume. ETZ-A Bd. 79 (1958) S. 291-296.
- [11] Würth, E.: Blitzschlag und Blitzschutzanlagen. Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart 1953.
- [12] Unfallverhütungsvorschriften, Anhang 3. Selbstverlag Hannoversche Landwirtschaftliche Berufsgenossenschaft, Hannover 1955.
- [13] Verhütung von Blitzunfällen bei Neubauten. Mitteilungsblätter der Bau-Berufsgenossenschaften. Selbstverlage in Frankfurt/M., Hamburg, Hannover, München, Wuppertal, Jg. 1957.
- [14] Camping, Zeitschrift des Deutschen Camping-Club Bd. 6 (1960) S. 248.

Blitzschäden an Kirchen

Von Alfred Hösl, München*)

DK 729.998.78 : 726.5

Umfang der Blitzschäden

Nach einer Zusammenstellung von W. Bergmann [1] waren von 1949 bis 1955, also in sieben Jahren, innerhalb Bayerns 812 zündende Blitzschläge mit 14,394 Mio. DM Schaden zu verzeichnen, wovon rund 1 %, d. h. acht zündende Blitzschläge, mit 0,147 Mio. DM Schaden auf Kirchen und Türme trafen. Im selben Zeitraum gab es 2833 nicht zündende Blitze mit 0,768 Mio. DM Schaden. Der Anteil der Kirchen und Türme an der Zahl der nicht zündenden Blitze beträgt 4 % (117) und am Schaden 14 % (0,109 Mio. DM). Über die elektrischen Hausanschlüsse kamen 1756 Wanderwellen, die 0,175 Mio. DM Schaden anrichteten. Auf Kirchen und Türme entfielen dabei an der Zahl rd. 1 % (22) und am Schaden rd. 2 % (0,004 Mio. DM). Man erkennt, daß Splitterschäden, meist bedingt durch ein Abspringen des Blitzes nach einem Einschlag in den Kirchturm, für Blitzschäden an Kirchen kennzeichnend sind. Kirchen unterscheiden sich dabei von Anwesen in der Landwirtschaft, auf welche die Hälfte aller Blitzschläge trifft, die aber wegen der dort gelagerten leicht entzündlichen Stoffe und der relativ geringen Zahl von Blitzschutzanlagen 90 % aller durch Blitzschlag verursachten Schäden umfassen.

Die Bayerische Versicherungskammer gestattete freundlicherweise dem Verfasser, die im Verwaltungsjahr 1955/1956, d. h. in der Zeit vom 1. Oktober 1955 bis zum 30. September 1956, in Bayern aufgetretenen neun Blitzschäden an Kirchen näher zu untersuchen. Nur eine von diesen hatte keinen Blitz-

ableiter. Der schwache Blitz wählte den Weg zur Erde über die elektrische Anlage, wobei er rund 600 DM Gebäudeschaden anrichtete, ohne zu zünden. Von den übrigen acht Fällen war der Blitz sechsmal vom Blitzableiter auf die nicht in den Blitzschutz einbezogene elektrische Anlage abgesprungen. Durchweg wurden nur Gebäude-Splitterschäden von insgesamt rund 2500 DM verursacht.

Müller-Hillebrand berichtete in einem Aufsatz „Blitz und Kirche“ [2] über Schäden in Schweden. Nach einer Mitteilung von A. O. Rhyzelius (1721), also noch vor Franklin (1751), wurden in Schweden von 1661 bis 1720, also innerhalb von 60 Jahren, 52 Kirchen beschädigt oder zerstört. In diesem Zeitraum gab es 26 Jahre ohne Blitzschäden an Kirchen. Andererseits wurden im Jahre 1702 gleich fünf Kirchen beschädigt und am 10. 8. 1694 sogar vier Kirchen am selben Tag. Von den erwähnten 52 Kirchen erlitten 24 (wohl nicht vollständig erfaßt) Splitterschäden, 21 Brandschäden und sieben Totalschäden.

Müller-Hillebrand stellte fest, daß von 1935 bis 1959, also innerhalb von 25 Jahren, in Schweden 51 Kirchen durch den Blitz getroffen waren. Davon erhielten 39, darunter 14 Kirchen mit Blitzableiter, Splitterschäden, neun, darunter zwei Kirchen mit Blitzableiter, Brandschäden, und drei, darunter zwei Kirchen mit Blitzableiter, Totalschäden. In einem Fall wurde der Blitzableiter zerstört und in 14 Fällen die elektrische Anlage in Mitleidenschaft gezogen. Aus diesen Zahlen ergeben sich in 25 Jahren 18 Schäden an Kirchen mit Blitzableitern. Auf 1000 Kirchen und 10 Gewittertage bezogen, sind dies jährlich $\frac{18}{25} \cdot \frac{1000}{2000} \cdot \frac{10}{12} = 0,3$

*) Dr.-Ing. A. Hösl ist Leiter des Technischen Referats der Elektro-Beratung Bayern in München.

Schäden, da sich die Erfahrungen auf etwa 2000 ländliche Kirchen mit Blitzableitern in einem Gebiet mit im Mittel 12 Gewittertagen je Jahr beziehen. Für Bayern ergeben sich entsprechend $8 \cdot \frac{1000}{4000} \cdot \frac{10}{25} = 0,8$ Schäden.

Wenn man die schwedischen Zahlen von vor 250 Jahren mit denen von heute vergleicht, erkennt man auf den ersten Blick keine Besserung durch das Anbringen von Blitzschutzanlagen. In allen untersuchten Fällen in Schweden ergab sich jedoch, daß die Blitzschutzanlagen nicht den Vorschriften entsprochen haben. Metallteile in den Kirchen (Wasserleitungen, elektrische Leitungen, Metallkonstruktionen im Turm, Wärme-Isoliermatten mit eingewebten Metalldrähten) waren nicht mit der Blitzableiteranlage direkt oder indirekt verbunden.

Beschaffenheit der Blitzschutzanlage

Der Ausschuß für Blitzableiterbau (ABB) hat für den Blitzschutz von Kirchen besondere Bestimmungen festgelegt [3]. Dies geschah nicht mit Rücksicht auf das Kirchenschiff, das wie andere Gebäude zu schützen ist, sondern auf den Turm, der wegen seiner Höhe der Einschlagsgefahr besonders ausgesetzt ist und bei dem aus demselben Grund bei kleiner Stirnzeit der Blitz-Stoßentladung [4] ein Abspringen des Blitzes erwartet werden muß, wenn die Blitzschutzanlage nicht fachgerecht gebaut ist. Außerdem nehmen hochragende Türme verhältnismäßig höhere Ströme aus Blitzentladungen auf als niedrigere Gebäude oder gar die Erdoberfläche. Golde hat errechnet [5], daß ein sich aus der Raumladung entwickelnder Blitzstrom von z.B. 20 kA durch einen Turm auf 25 m Entfernung, dagegen ein Blitzstrom von 60 kA noch auf 115 m Entfernung „angezogen“ wird.

Kirchtürme müssen nach den Leitsätzen des ABB bei mehr als 20 m Höhe zwei Hauptableitungen erhalten. Bei Feuerlöschanlagen (Sprinkleranlagen), eisernen Treppen oder elektrischen Installationen im Turm (Glockenläutwerk, Uhr) besteht die Gefahr eines Überschlages vom Blitzableiter her. Sprinkleranlagen oder Eisentreppen hat man daher mindestens an ihren Fußpunkten mit der Blitzableiter-Erdungsanlage metallisch leitend zu verbinden. Das obere Ende der Sprinkleranlage oder Treppe muß u.U. an der Näherungsstelle ebenfalls mit dem Blitzableiter verbunden werden, wenn der Abstand ein bestimmtes Maß unterschreitet, das in den ABB-Leitsätzen festgelegt ist. Näherungen zwischen Blitzableiter und elektrischer Anlage im Turm sind gleichfalls zu überbrücken, und zwar im allgemeinen durch Überspannungsableiter. Von diesen ist ein weiterer Satz an geeigneter Stelle, z.B. unten im Turm oder an einer Hauptverteilung, einzubauen. Metallgekapselte Schaltkästen oder Klemmenkästen von Motoren können dabei als Trennfunkstrecke betrachtet werden.

Bei Kirchtürmen ist es besonders wichtig, die vom ABB festgesetzten Mindestquerschnitte für Ableitungen, außer einem möglichst guten Erder, zu beachten. So werden als Mindestquerschnitte für Stahl und Kupfer 50 mm², für Aluminium 80 mm² gefordert.

Das Kirchenschiff ist ohne Rücksicht auf das Vorhandensein der Blitzschutzanlage des Turmes als selbständiges Gebäude nach den gleichen Grundsätzen zu schützen wie andere Gebäude gleicher Abmessungen. Es muß also eine vollständige, mit eigenen Ableitungen zur Erde versehene Blitzschutzanlage erhalten, die auf dem kürzesten Wege längs des Firstes mit einer Ableitung des Turmes zu verbinden ist.

Wie sich die Mißachtung solcher Forderungen auswirken kann, sei an einigen im folgenden Abschnitt behandelten Beispielen erläutert.

Zerstörung von Drähten und Seilen durch den Blitzstrom

Bei der Untersuchung von Blitzschäden wird manchmal eine Zerstörung von zu schwachen Ableitungen oder elektrischen Leitern durch den Blitzstrom beobachtet. Kleinere Querschnitte bis zu etwa 10 mm² können verdampfen, größere bis zu etwa 30 mm² zerstückelt werden.

Ein Zerreißen dickerer Leiter ist auf verschiedene Ursachen zurückzuführen. So kann der Blitzstrom aus der Luft auf den Leiter über einen Lichtbogen übergehen. Weshalb dies manchmal geschieht, meist aber nicht, ist wohl noch nicht geklärt. Ferner benutzt der Blitzstrom als Stoßstrom in Drähten, vor allem aus Stahl, nicht den ganzen Leiterquerschnitt, sondern nur einen äußeren Ring, den er in kürzester Zeit auf 500 °C und mehr erwärmt. Der Draht will sich ausdehnen, kann seine Masse aber wegen ihrer Trägheit in so kurzer Zeit weder in Längsrichtung noch quer dazu in Bewegung setzen. Im Draht entsteht eine hohe Druckkraft, die den Draht knickt. Seile, insbesondere aus nichtmagnetischem Werkstoff, verhalten sich günstiger. Schließlich treten bei stromstarken Blitzten und bei solchen mit großer Steilheit des Stromanstiegs (di/dt) bedeutende Kräfte auf, die insbesondere durch Biegebungsbeanspruchungen den Leiterwerkstoff zerreißen können [6].

Wie K. Berger auf der CIGRE-Tagung in Paris 1960 berichtete, finden sich nach Messungen auf dem Monte San Salvatore solche besonders steilen Stromanstiege merkwürdigerweise nicht bei dem ersten von mehreren Teilblitzen, sondern erst beim zweiten oder dritten [7]. In solchen Fällen müssen starke elektrodynamische Kräfte erwartet werden. Schließlich werden Blitzableiter durch reine Wärmewirkungen (∫i² R dt), z.B. an schlechten Leiterverbindungen, zersprengt oder geschmolzen.

Abgerissenes Messingseil

Am 19.5.1952 gegen 5h 30min schlug ein Blitz in den Turm der Pfarrkirche von K. (Bayern). Der 35 m hohe Kirchturm trug auf dem First des Satteldaches mit Ziegel-

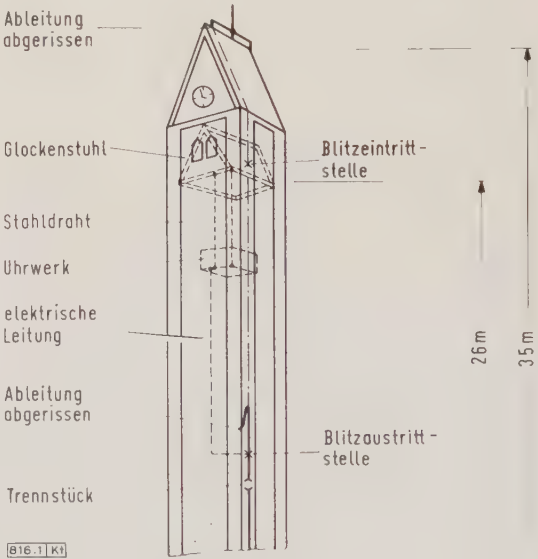


Bild 1. Kirchturm in K.

eindeckung eine Auffangstange mit Auffangleitung (Bild 1). Die einzige Ableitung verlief über die südöstliche Giebelkante und längs der Ostwand des Turmes zur Erde. Im oberen Drittel bestand die Ableitung aus Messingseil von 7 · 1,9 mm Dmr. und 20 mm² Querschnitt, das im Jahre 1945 angebracht worden war. Im mittleren Drittel war Stahlseil (25 mm²) und unten Kupferseil (25 mm²) verlegt worden. Die Ableitung führte zu einer 2,5 m tief waagrecht im Erdboden verlegten Kupferplatte von 0,5 m × 0,5 m mit einem Erdungswiderstand von 40 Ω, gemessen nach längerer Regenzeit. Die einzelnen Teile der Leitung waren mit je einer Freileitungsklemme und einer Würgeverbindung schlecht verbunden. Der Übergangswiderstand beider Verbindungen betrug 90 Ω.

Der Blitz zerriß die Messingleitung in acht einzelne Stücke von 0,1 bis 1 m Länge. In 26 m Höhe sprang eine Teilentladung vom Messingseil über ein Schelleisen durch

An der Stelle 3 (Bild 2) kann ein Blitzansatz gewesen sein, wobei der Draht dort abschmolz. Prof. Dr. K. Berger, TH Zürich, und Dipl.-Ing. Neuhaus, Technischer Überwachungsverein Köln, bestätigten dem Verfasser, daß auch sie schon solche Abschmelzungen bei 30-mm²-Kupferseilen beobachtet hätten.

Bei der Stelle 5 (Bild 3) riß das Seil wegen der schlechten Verbindung. Es wäre denkbar, daß dabei durch das wegfliegende Seil die Ableitung auch an der Stelle 4 mechanisch abgerissen wurde. Es wurde leider versäumt, die Bruchstelle 4 daraufhin näher zu untersuchen. An der Stelle 6 bildete sich offenbar ein Lichtbogen zur Dachrinne und verursachte so die Leitungstrennung.

Es verbleibt noch, den Bruch der Ableitung an der Stelle 1 (Bild 2) zu untersuchen: Man muß wohl annehmen, daß es sich bei dem Blitz um mehrere Teilentladungen handelte, wobei ein Ansatz bei der Stelle 3 und ein weiterer bei der Stelle 1 zu suchen wäre. Zur Bestätigung dieser Vermutung wurden die Drähte der Bruchstellen 1 und 3 an das Materialprüfamt der TH München gegeben. Während das Blitzableiterseil in seinem übrigen Verlauf keine Erwärmungsspuren zeigte, wiesen die Bruchstellen 1 und 3

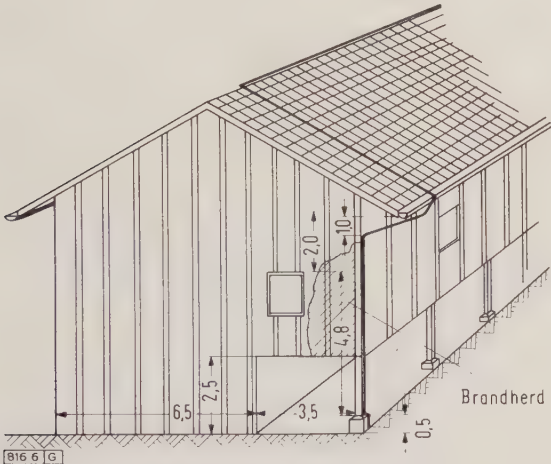


Bild 5. Scheune in E. (Ansicht).

eine sehr starke örtliche Erhitzung auf. Nach dem Aussehen und den Schliffbildern war an den Stellen zu unterscheiden zwischen Drähten, die im bildsamen Zustand bis zum Bruch stark vorverformt wurden, und solchen Drähten, die infolge geringerer Erwärmung vor dem Bruch keine wesentliche Einschnürung und Dehnung erfuhren. Der erstgenannte bildsame Zustand entspricht einer Temperaturerhöhung über den Minimumbereich der Geschmeidigkeit, also über 700 grd, während für den zweitgenannten spröden Bruch eine Temperaturerhöhung zwischen 400 und 700 grd anzunehmen ist. Die Untersuchung ergab, daß die Hälfte aller Seildrähte an der Stelle 3 eine mittlere Temperatur von etwa 500 °C hatte, während für die zweite Hälfte Temperaturen um oder über 700 °C anzunehmen sind (Bild 4). Bei der Stelle 1 dagegen dürften dem Aussehen nach alle 12 Einzeldrähte Temperaturen um oder über 700 °C während des Bruches erreicht haben. Damit ist bewiesen, daß sich an den Stellen 1 und 3 der Blitz in die Ableitung getroffen hat.

Bei der Stelle 1, wo die Leitung rechtwinklig um das Turmdach gebogen war, kamen außerdem erhebliche elektrodynamische Kräfte zur Wirkung, die der Verfasser berechnet hat [6]. Ein Bruch des Seiles war hier besonders leicht möglich. Durch diese elektrodynamische Zugkraft wurde das Seil offenbar auch so heftig auf das Schieferdach gepeitscht, daß die Schäden an den Dachplatten (Bild 2) erklärt werden können.

Abgerissener Aluminiumdraht

Am 5.8.1952 gegen 23^h 15^{min} schlug der Blitz in den Blitzableiter einer Scheune in E. (Bayern). Der Aluminium-

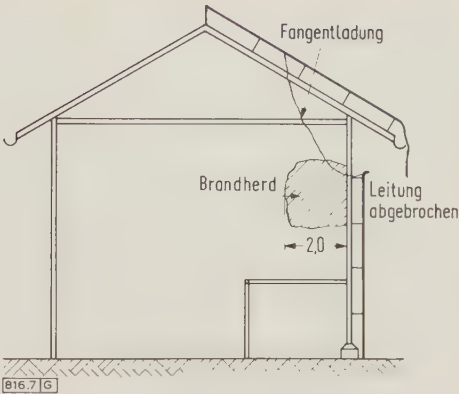


Bild 6. Scheune in E. (Schnitt).

draht von 10 mm Dmr. war scharf um den Dachvorsprung gebogen (Bild 5) und dann mit Schelleisen an einem Holzbalken befestigt. Etwa 2 min nach dem Einschlag ging der Besitzer in den Hof und sah es durch das Scheunenfenster im Innern brennen. In der Ecke des Brandherdes und mindestens 8 m im Umkreis waren weder Heu noch Stroh gelagert, sondern nur Abfall- und Werkholz. Auch befanden sich dort weder elektrische Betriebsmittel noch Metallteile irgendwelcher Art. Der Besitzer sah jedoch, daß der Draht vom Blitzableiter am obersten Schelleisen abgebrochen war und von der Dachrinne an senkrecht herabhing (Bild 6 und 7). Der Erdungswiderstand gerade dieser Ableitung war mit weniger als 1 Ω besonders gut (Jauchegrube). Die Blitzschutzanlage war 3 Monate vor dem Blitzschlag neu errichtet worden.

Die Untersuchung ergab, daß die Aluminiumleitung zu straff verlegt worden war. Beim obersten Schelleisen (Bruchstelle) waren Druckkerben von mindestens 1 mm Tiefe. Der Draht bestand aus weichem, sehr dehnbarem Reinaluminium von 8,1 kp/mm² Zugfestigkeit, wie Untersuchungen des Materialprüfamtes der TH München ergaben. Bei einer Temperaturerhöhung auf 200 °C beträgt die Festigkeit nur noch die Hälfte derjenigen bei Normaltemperatur. Der Bruch trat bei einer Temperatur ein, die nahe am Schmelzpunkt lag. Auf eine Länge von 35 mm von der Bruchstelle aus waren sehr feine, kurze Risse erkennbar. Diese treten bei Aluminium gewöhnlich dann auf, wenn der Werkstoff in einem Zustand nahe der Zähflüssigkeit mechanisch beansprucht wird. Der Bruch trat durch einen Zug in der Achsrichtung des Drahtes ein. Da die beiden zugespitzten Bruchenden (Bild 7) keinerlei Anzeichen für eine Lichtbogenbildung zwischen ihnen aufweisen, besteht große Wahrscheinlichkeit dafür, daß der Bruch erst unmittelbar nach dem Blitzschlag auftrat.

Weiterhin wurde festgestellt, daß sich zwischen der obersten Schelle und dem zum Erder führenden Ableiterdraht mit Sicherheit ein Lichtbogen gebildet hatte. Diese Ermittlungen zwingen zu folgender Annahme: Der Blitzstrom floß über die Einschnürungsstelle zur Erde und erwärmte den Draht bei der Querschnittsverminderung. Außerdem wurden bedeutende elektrodynamische Kräfte wegen der rechtwinkligen Leitungsführung ausgeübt, die bestrebt waren, die Schleife zu vergrößern. Der Draht riß an der Einspannstelle und schnellte vom Gebäude weg (Bild 6).

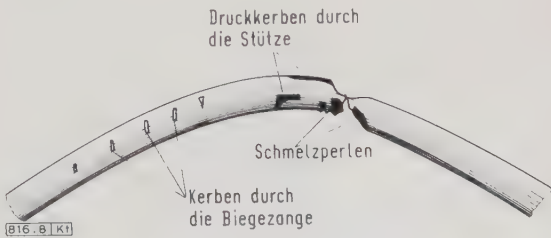


Bild 7. Bruchstelle der Ableitung bei der Scheune in E. (Bild 5 und 6).



Bild 8. Blitzschäden an der Orgel der Kirche in R. (Bild 2 und 3).

Weiter nachfolgende Teilentladungen des Blitzes fanden keine geschlossene metallische Bahn mehr vor und wählten den — geradezu unwahrscheinlich anmutenden — Weg durch die Scheune mit etwa 3 m Überschlaglänge. Von dieser Überschlagstelle an betrug der Leitungsweg bis zu einem weiteren Erder mehr als 30 m. Dieser war über eine Ringleitung mit dem ersten verbunden. Der „Umweg“ war also rund zehnmal so groß wie die Näherung, so daß bei einem Blitz mit sehr steiler Stirn der Überschlag wenigstens möglich erscheint [4]. Leider wurde das oberste Schelleisen nicht mehr gefunden. Dieses hätte wohl an der Schaftspitze Schmelzstellen zeigen müssen, wie man überhaupt annehmen muß, daß das Schelleisen durch den Holzbalken hindurchragte.

Verdampfen von dünnen Drähten

Neben den geschilderten Wärme- und Kraftwirkungen von Blitzströmen an Leitungen größeren Querschnitts werden vielfach Verdampfungen dünnerer Drähte beobachtet [8]. In solchen Fällen verteilt sich besonders bei nichtmagnetischen Werkstoffen der Strom fast gleichmäßig über den ganzen Querschnitt. Wie die Erfahrung lehrt, können durch stromstarke Blitze Kupferleitungen von etwa 6 mm² Querschnitt oder Aluminium- und Eisenleitungen bis zu 10 mm² Querschnitt verdampft werden. Darüber soll in folgendem Beispiel berichtet werden.

Bei dem vorerwähnten Blitzschlag in den Kirchturm von R. am 15. 6. 1956 sprang ein Teil der Blitzentladung von der sehr schlecht geerdeten Ableitung 1 (Bild 2) auf die 0,6 m entfernte Starkstrom-Freileitung über. Diese verlief nach der Wand-Hauseinführung teils in Isolierrohr, teils als NRU-Feuchtraumleitung 4 · 1,5 mm² Kupfer, über Hausanschluß-Sicherungen, Zähler und Verteilungs-Sicherungen zum Motorschalter an der Orgel und zum Gebläsemotor im Dachboden über der Orgel. Durch den Blitz wurden Zähler und Sicherungen gesprengt, die Isolierrohre aufgerissen und flachgedrückt, die Leiteradern und deren Isolierung auf eine Länge von 10 m verdampft (Bild 8). Die Orgelpfeifen waren auf der Seite der Orgel, an der die Starkstrom-

leitung geführt war, herausgefliegen. Ebenso war die seitliche Verkleidung der Orgel herausgerissen. Die verbleibenden Kirchenfenster waren teilweise zerbrochen und nach außen gedrückt worden.

Die verdampften Leitungen entsprachen einer Menge von 0,5 kg Kupfer. Zum Verdampfen waren 2870 kW_s nötig. Eine Überschlagsrechnung zeigt, daß ein Druck von rd. 30 kp/cm² aufgetreten war. Auch wenn man eine sehr starke Dämpfung durch die Luft in Betracht zieht, wird die explosionsartige Wirkung verständlich. Ähnliches gilt für Wasser, das durch den Blitz verdampft wird. Allein eine Erhitzung des Wassers von 20 °C auf Dampf von 100 °C bedeutet eine Vervielfachung des Volumens auf das 1700-fache. Kann sich dabei der Dampf nicht oder nur ungenügend ausdehnen, so wird die Wärmeenergie in Druck von einigen hundert Atmosphären umgesetzt [9].

Sturmschäden

Nicht immer ist der Blitz für Zerstörungen an Gebäuden verantwortlich. Am 1. 8. 1958 gegen 19^h 25^{min} wurden nach einem Gewitter an der Pfarrkirche St. Peter in G. (Bayern)

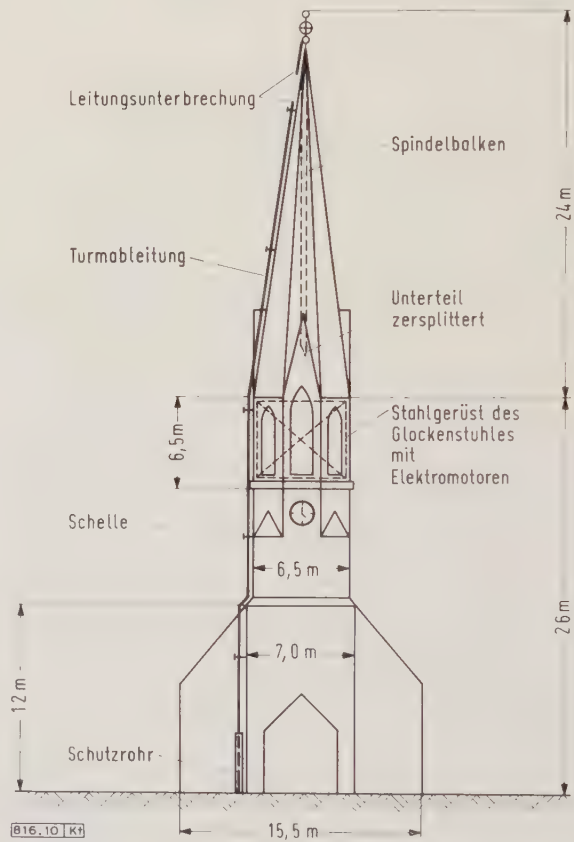


Bild 10. Skizze der Kirche in G. (Bild 9).

große Zerstörungen beobachtet (Bild 9). Nach Vermutungen von Sachverständigen sollte ein Blitz in die Turmspitze geschlagen haben (Bild 10). Da am Kirchturm-Helm ein Stück des Blitzableiters gefehlt habe — was nicht bewiesen werden konnte —, sei der Blitz durch die Dachhaut auf den mittleren trockenen Holz-Spindelbalken gefahren, habe diesen zersplittert und sei dann unten am Turmhelm vom Holzbalken wieder durch das Dach auf den Blitzableiter zurückgesprungen und in die Erde abgeleitet worden.

Abgesehen von anderen Unstimmigkeiten ergab die Untersuchung des Spindelbalkens einen eindeutigen Verdrehringbruch. Außerdem war die fragliche Ableitung von keinem Blitzstrom durchflossen worden. Die Erdeinführung verlief in einem eisernen Schutzrohr, das im oberen Teil von einer Schelle gehalten wird. Wegen der sehr engen elektrischen Kopplung der Ableiter-Leitung mit dem Schutzrohr würde bei einem Blitzstrom ein bedeutender Anteil der Energie im Rohr geflossen sein. Dadurch wäre die eiserne



Bild 9. Kirche in G.

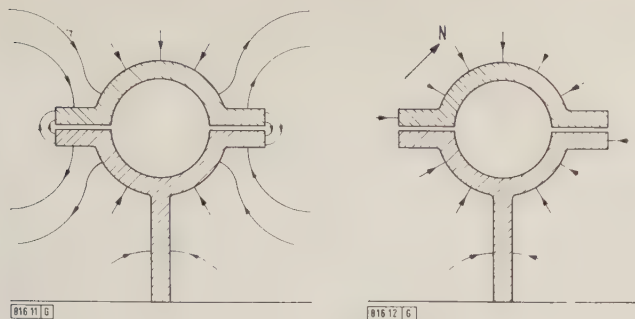


Bild 11. Magnetisches Feld eines Schelleisens, hervorgerufen durch Blitzstrom.

Bild 12. Magnetisches Feld eines Schelleisens, hervorgerufen durch Erdfeld.

Halteschelle im oberen Teil des Schutzrohres durch das den Blitzstrom (unipolarer Gleichstromstoß) begleitende Magnetfeld in ganz bestimmter Weise magnetisiert worden (Bild 11). Der tatsächlich gemessene Verlauf dagegen (Bild 12) zeigt, daß die Feldlinien nur vom Erdfeld herühren. Der obere Teil des Rohres war südmagnetisch, der untere nordmagnetisch [10].

Dem Sachkundigen bieten sich außer den genannten noch eine ganze Reihe weiterer Merkmale an, durch die sich Blitzschäden von Sturmschäden unterscheiden lassen. Vor allem gehorcht der Blitz überall den für ihn geltenden Naturgesetzen der Elektrizität. Dementsprechend läßt sich sein Weg von der Einschlagstelle bis zur Erde meist lückenlos verfolgen. Bei Sturmschäden leistet u. a. die Wetterwarte gute Dienste. So war in dem geschilderten Beispiel gemeldet worden: „Der Sturm begann um 19h 15min mit den ersten Böen von Windstärke 6, die sich bis 19h 25min (dem Zeitpunkt des angeblichen Blitzschlags) bis zur Windstärke 12 (33 m/s) steigerten.“ Von den 488 Gebäuden der Gemeinde waren damals 280 durch den Sturm beschädigt worden.

Schlußfolgerungen

Aus den vorausgehenden Ausführungen über Blitzschäden an Kirchen lassen sich folgende Folgerungen ziehen:

1. Kirchen sind wegen ihrer hohen Türme mehr blitzgefährdet als niedrige Gebäude.

2. In Türme schlagen mehr stromstarke Blitze ein als in niedrige Häuser gleicher Grundfläche.
3. Die Gefahr des Abspringens eines Blitzes (rückwärtiger Überschlag, induktiver Spannungsabfall) spielt insbesondere bei Türmen eine große Rolle.
4. Gefährdete elektrische Anlagen müssen durch den Einbau von Überspannungsableitern geschützt werden.
5. Leitungsverbindungen müssen mit größter Sorgfalt hergestellt werden.
6. Die vom Ausschuß für Blitzableiterbau (ABB) festgelegten Bestimmungen über Werkstoffe und Querschnitte von Ableitungen müssen beachtet werden.
7. Der Blitz ist nicht für alle Zerstörungen verantwortlich; hieran können auch Sturmschäden beteiligt sein.

Zusammenfassung

Nach einer vergleichenden statistischen Übersicht über Blitzschäden an Kirchen und Türmen in Bayern und Schweden werden die an Blitzschutzanlagen zu stellenden Anforderungen erläutert. Sodann wird eine Reihe von Schadensfällen untersucht, die in den letzten Jahren in Bayern hauptsächlich an Kirchen durch Blitzschlag aufgetreten sind. Daraus ergeben sich wichtige Schlußfolgerungen über die Blitzgefährdung von Kirchen und die Beschaffenheit von ordnungsgemäßen Blitzschutzanlagen.

Schrifttum

- [1] Bergmann, W.: Blitzschäden an Gebäuden in Bayern. Herausgegeben im Eigenverlag der Bayer. Versicherungskammer, Abt. für Brandversicherung, München, Bericht auf dem 3. Intern. Blitzschutzkongreß 1956 in Meran.
- [2] Müller-Hillebrand, D.: Åskan och Kyrkan. T. Pastoratsförvaltning Bd. 14 (1960) H. 7, S. 3–9, u. H. 8, S. 9–15.
- [3] Blitzschutz, 6. Aufl. Hrsgb. Ausschuß für Blitzableiterbau (ABB); Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin 1957.
- [4] Schwenkhagen, H. F.: Neuere Erkenntnisse über den Gebäude-Blitzschutz. ETZ Bd. 73 (1952) S. 63–68.
- [5] Golde, R. H.: The frequency of occurrence and the distribution of lightning flashes to transmission lines. Trans. Amer. Inst. electr. Ing. Bd. 64 (1945) S. 902–905.
- [6] Hösl, A.: Vorgänge beim Blitzeinschlag in Gebäude und in einzelstehende Bäume. ETZ-A Bd. 79 (1958) S. 291–296.
- [7] Berger, K.: Diskussionsbeitrag zum Spezialbericht der Gruppe 33. CIGRE-Ber. 1960 Nr. 314 u. 314 bis.
- [8] Neuhaus, H.: Wärme- und Kraftwirkungen von Blitzströmen an Blitzableiterbauteilen. Dachdeckermeister Bd. 13 (1958) H. 9, S. 11–16.
- [9] Müller-Hillebrand, D.: Rückwärtiger Blitzeinschlag in Häuser und Energieumsatz im eingegängten Blitzkanal. ETZ-A Bd. 78 (1957) S. 548 bis 553.
- [10] Schwenkhagen, H. F.: Sturm- und Blitzschäden. Deutsche öffentlich-rechtliche Versicherung Nr. 6 (1937).

Aufgaben und Organisation einer internationalen Blitzschadenstatistik

Von Volker Fritsch, Wien*)

DK 551.594.221.004.6 : 31

In den letzten Jahren wurde auf fast allen Blitzschutztagungen auf die Bedeutung und auf die Notwendigkeit einer international einheitlich ausgerichteten Blitzschadenstatistik hingewiesen. Die diesbezüglichen Diskussionen nahmen besonders auf den Tagungen 1956 in Meran und 1958 in Wien einen breiten Raum ein. Leider sind die Fortschritte, die gerade auf diesem Gebiet erzielt wurden, recht bescheiden, und der internationale Stand dieser Statistik ist nicht befriedigend. Im folgenden sollen daher einige Gesichtspunkte für die Organisation einer solchen Statistik besprochen und Ergebnisse bekanntgegeben werden, die in Österreich erzielt wurden.

Zweck einer internationalen Blitzschadenstatistik

Die Blitzschadenstatistik hat einen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Zweck. Sie soll zunächst die regionale Verteilung der Einschläge studieren und untersuchen, ob diese Verteilung eine rein zufällige ist, oder ob sie durch topologische und geophysikalische Faktoren beeinflusst wird.

*) Gastdozent Dipl.-Ing. Dr. V. Fritsch ist Leiter der staatlich autorisierten Versuchsanstalt für Geoelektrik und Blitzschutz und Vorsitzender des österreichischen Ausschusses für Blitzableiterbau im Bundesministerium für Handel und Wiederaufbau, Wien.

Es ist weiter selbstverständlich, daß die Häufigkeit der Blitzschläge besonders durch meteorologische Einflüsse bestimmt wird, denn ein Blitzschlag ist ja nur dann möglich, wenn über den betreffenden Ort eine Gewitterwolke hinwegzieht, die zur Entladung gelangt. Es ist daher notwendig, die meteorologische Komponente von den anderen klar zu trennen.

In wirtschaftlicher Hinsicht ist eine gute Blitzschadenstatistik aus zwei Gründen notwendig. Zunächst einmal ist es wirtschaftlich erstrebenswert, die für den Blitzschutz verfügbaren Mittel nach Möglichkeit auf jene Gebiete zu konzentrieren, in denen die statistisch ermittelte Blitzgefährdung am größten ist. Damit soll nicht gesagt werden, daß nur in diesen Zonen der Blitzschutz berechtigt ist; er ist vielmehr überall anzustreben. Da aber in den meisten Ländern für den Blitzschutz, besonders der älteren Gebäude, nur beschränkte Mittel zur Verfügung stehen, so ist es zu vertreten, diese zunächst dort einzusetzen, wo sie am notwendigsten sind und wo sie sich am ehesten durch Senkung der Schadenssumme amortisieren.

Die Statistik ist aber auch notwendig, um die Wirksamkeit der Blitzschutzmaßnahmen beurteilen zu können. Sie gestattet die ungefähre Berechnung jener Summen, die durch

die Schaffung eines modernen Blitzschutzes an Schäden eingespart werden. Dadurch aber ist man imstande, die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen beurteilen zu können.

Arten der Statistik

Meist stehen drei Statistiken zur Verfügung; sie verzeichnen die Personenschäden, die Gebäudeschäden und die Einschläge in Leitungen.

Die Personenstatistik ist sicher interessant. Sie kann aber über die Verteilung der Blitzschläge kaum Aufschluß geben, weil ja nur ein ganz unbedeutender Teil der Einschläge beobachtet wird. Die Verteilung, wie sie diese Statistik erfaßt, kann daher nur eine rein zufällige sein.

Die Gebäudeschadenstatistik erfaßt stets das betreffende Gebiet flächenhaft. Sie hat den Vorteil, daß die Zahl der beobachteten Objekte meist sehr groß ist und daß diese mehr oder minder über die ganze zu beobachtende Fläche verteilt sind.

Die Leitungsstatistik erfaßt stets sehr lange, aber nur sehr schmale Flächen; es werden selbstverständlich nur Einschläge jener Gewitter beobachtet, die über die Leitung hinwegziehen. Ist die Leitung mit Stahlstäben ausgerüstet, dann kann die Einschlagstelle genau festgestellt werden. Ist dies aber nicht der Fall, so kann man nur die Zahl von Einschlägen über meist viele Kilometer lange Leitungsabschnitte summieren.

Die meteorologischen Angaben über Gewitter sind deshalb wichtig, weil sie die Ausscheidung der meteorologischen Komponente aus allen Beobachtungen ermöglicht. Aus verschiedenen Gründen ist heute die verlässlichste Bezugsbasis die Zahl der Gewittertage. Sehr wünschenswert wäre als Bezugsbasis die Angabe der Zahl der Erdblitzes. Deshalb verdienen Bestrebungen von R. H. Golde und D. Müller-Hillebrand, die ein großräumiges Blitzbeobachtungsnetz planen, volle Unterstützung.

Definition der Blitzgefährdung

Ideal wäre die Angabe des Quotienten aus der Ladung, die durch Blitze ausgeglichen wird, im Zähler, und aus der Beobachtungsfläche mal Beobachtungszeit im Nenner. Da dieser Ausdruck niemals genau ermittelt werden kann, so begnügt man sich mit anderen, natürlich wesentlich weniger genauen Angaben. Der Verfasser hat den folgenden Ausdruck vorgeschlagen und begründet [4, 6]:

Allgemeine Blitzgefährdung

$$Z_H = \frac{\text{Zahl der Einschläge mal } 10\,000}{\text{Zahl der beobachteten Objekte mal Beobachtungsdauer}}$$

Die Reduktion auf die Fläche und auf die Zahl der auf dieser Fläche wohnenden Menschen hat sich als ungünstig erwiesen. Eine Ausnahme bildet die Leitungsstatistik, bei der die Zahl der Einschläge stets auf die Leitungslänge oder auf die Fläche bezogen wird, die im Einzugsbereich der Leitung liegt.

Notwendige Dauer der Beobachtung

Im Jahre 1959 wurden beispielsweise in Österreich 1004 zündende und nichtzündende Blitze statistisch erfaßt. Bei einer Fläche von ungefähr 84 000 km² entfallen also rd. 0,012 beobachtete Blitzschläge auf 1 km². In den meisten mitteleuropäischen Staaten wird man mit ähnlichen Ziffern zu rechnen haben.

Will man daher irgendwelche Vergleiche anstellen, so muß man viele Jahre warten, bis eine genügend große Zahl von Einschlägen beobachtet wurde. Ein Jahrzehnt bildet ungefähr die untere Grenze. Beobachtungen, die sich nur über wenige Jahre erstrecken, sind niemals repräsentativ. Da die Gewittertätigkeit stark schwankt, so ist es durchaus möglich, daß in selbst stark blitzgefährdeten Gegenden

Jahre hindurch überhaupt keine oder nur ganz wenige Blitzschläge beobachtet werden. Erst Mittelwerte über viele Jahre geben ein richtiges Bild.

Wahl der Bezugsfläche

Will man die Blitzgefährdung eines größeren Gebietes, also etwa eines Landes, beschreiben, so muß man den Wert Z_H für die Teilflächen dieses Gebietes angeben. Dabei ist die richtige Größe dieser Fläche zu ermitteln. Sind die Flächen sehr groß, dann werden sich innerhalb ihrer Grenzen örtliche Inhomogenitäten ausgleichen, und man wird für die einzelnen Teilflächen Werte erhalten, die sich voneinander wenig unterscheiden. Wählt man die betreffenden Flächen dagegen zu klein, dann wird die Zahl der Blitzschläge in diesen nur klein sein. Je geringer aber die Zahl der beobachteten Einschläge ist, desto zufälligeren Charakter erhalten die berechneten Werte für die Blitzgefährdung.

Sorgfältige Untersuchungen in Österreich haben gezeigt, daß zur Auswertung der über ein Jahrzehnt laufenden Beobachtungen als Bezugsfläche die Fläche eines Verwaltungsbezirkes — ungefähr vergleichbar dem deutschen Landkreis — am besten geeignet ist. Auf je längere Zeit die Beobachtungen durchgeführt werden, desto größer ist die Zahl der beobachteten Blitzschläge und desto mehr kann die Bezugsfläche unterteilt werden. Man rechnet in Österreich damit, daß in ungefähr zehn Jahren als Bezugsfläche der Gerichtsbezirk verwendet werden wird, dessen Fläche ungefähr $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{4}$ jener des Verwaltungsbezirkes entspricht.

Bei der Auswertung von Leitungsbeobachtungen sind etwas andere Voraussetzungen gegeben. Bildet man Mittelwerte über zu lange Leitungsabschnitte, so unterscheiden sich diese voneinander nur wenig. Je feiner aber dann die Unterteilung wird, desto größer werden die Unterschiede. So hat z. B. H. Baatz [1] die Zahl der Blitzschläge zusammengestellt, die im Zuge einer Leitung von 240 Mastfeldern während acht Jahren beobachtet wurden. Man kann diese

Tafel 1. n_{\max}/n_{\min} für Blitzschläge in 240 Mastfelder einer Leitung während 8 Jahre.

Zahl der gleichlangen Leistungsabschnitte	$\frac{n_{\max}}{n_{\min}}$
24	$\frac{10}{0} = \infty$
4	$\frac{28}{20} = 1,40$
3	$\frac{34}{32} = 1,07$
2	$\frac{50}{48} = 1,04$

Leitung nun in verschieden lange Abschnitte unterteilen und für jeden dieser Abschnitte die Zahl der Einschläge n bestimmen. Bezeichnet man mit n_{\max} die Zahl der Einschläge in den am meisten getroffenen Abschnitt und mit n_{\min} die Zahl der Einschläge in den am wenigsten getroffenen Abschnitt, so erhält man die Verhältnisse nach Tafel 1.

Je weniger die Strecke unterteilt wird, desto geringer werden die Unterschiede. Da man aber, z. B. bei geophysikalischen Untersuchungen, den vom Verfasser für wichtig erachteten Einfluß von Bodenheterogenitäten beurteilen muß, die sich nur über kurze Strecken — von oft nur 100 m und weniger — ausdehnen, so haben Werte, die über viele Kilometer gemittelt werden, keine allgemeine Bedeutung. Bei Leitungsbeobachtungen sollte daher die Zahl der Einschläge auf die Länge des Mastfeldes bezogen werden. Dies setzt aber wieder eine genügend lange Beobachtungsdauer voraus. Der Nachteil der Leitungsstatistik ist in der nur kleinen kontrollierten Fläche zu suchen. Ihr Vorteil ist es andererseits, daß innerhalb dieser zwar nur schmalen, aber langen

Fläche, praktisch jeder Punkt kontrolliert wird, während bei der Gebädestatistik die Beobachtungspunkte oft viele Kilometer weit auseinander liegen.

Organisation der österreichischen Blitzschadenstatistik

Seit 1949 wird in Österreich durch die Landesstellen für Brandverhütung eine Brandschadenstatistik nach einheitlichen Gesichtspunkten aufgestellt. Da die Zentralstelle dieser Landesstellen in Wien mit dem österreichischen Ausschuß für Blitzableiterbau im Bundesministerium für Handel und Wiederaufbau eng zusammenarbeitet, so wurde bei der Anlage dieser Statistik auch auf die Blitzschäden weitgehend Bedacht genommen. Für jedes Bundesland werden folgende Ziffern verzeichnet:

- Zahl der zündenden Blitzschläge,
- Zahl der nichtzündenden Blitzschläge,
- Gebäudeschäden durch zündende Blitzschläge,
- Gebäudeschäden durch nichtzündende Blitzschläge,
- Verteilung der zündenden und nichtzündenden Blitzschläge auf
- Landwirtschaft,
- Industrie,
- Gewerbe,
- Wohnhäuser und ähnliche Objekte,
- Wald-, Wiesen- und Schilfgelände,
- und bis 1958 auf „Sonstiges“.

Jeder Blitzschlag wird kontrolliert und die Einschlagstelle genau festgestellt. Im Jahre 1959 wurden 168 zündende und 836 nichtzündende Blitze beobachtet. Der Gesamtschaden betrug ungefähr 2,35 Mio. DM oder 8,1 % aller österreichischen Brandschäden. Die Blitzschäden stehen heute an vierter Stelle, wenn man von den unbekannten Brandursachen absieht, während sie früher stets an erster Stelle standen. Dies dürfte ein Erfolg der eifrig propagierten Ausweitung des Blitzschutzes sein. Die guten Erfahrungen, die man in Österreich mit dieser Statistik gemacht hat, könnten vielleicht auch dem Auslande dienen.

Vergleich der Blitzgefährdung in verschiedenen Gebieten

In Tafel 2 sind einige Werte Z_H der Blitzgefährdung miteinander verglichen, die für Gebiete mit längerer Beob-

Tafel 2. Werte für die Blitzgefährdung Z_H

Gebiet	Blitzgefährdung Z_H		
	Mittel	Maximum	Minimum
Land Sachsen	7,2	20,2	3,8
Republik Österreich	12,7	42,6	2,8
Kanton Zürich	3,6	—	—
Kanton Bern	6,6	—	—
Schweden *)	9,6	39,6	3,1

*) Mittel nach [8] Tafel V, andere Werte nach [8] Tafel I.

achtungsdauer (10 bis 15 Jahre) berechnet wurden. Man sieht, daß diese Werte voneinander zwar verschieden, aber einander vergleichbar sind.

Einfluß der Höhenlage, der geophysikalischen, meteorologischen und topographischen Voraussetzungen

Ein Einfluß der Höhenlage auf die Blitzgefährdung konnte weder in Österreich noch in Sachsen nachgewiesen werden. Beobachtungen in mehreren Ländern lassen einen Einfluß der geoelektrischen Bodenstruktur auf den bodennahen Teil der Blitzbahn vermuten. Dabei scheint es weniger auf die absolute Bodenleitfähigkeit als auf die elektrische Inhomogenität des Untergrundes anzukommen. Der Verfasser [5, 6]

Tafel 3. Zahl der Blitzschläge Z_H , bezogen auf die Zahl der Objekte, und Z_F , bezogen auf die Fläche.

Gebiet	Z_H	Z_F
Stadt Wien	4,5	76,0
Umgebung von Wien	4,9	10,1
Stadt Rom	20,1	42,1
Umgebung von Rom (Latium)	18,3	11,2

und G. Lehmann [7] haben diese Fragen bereits an anderer Stelle behandelt, so daß sie hier übergangen werden können.

Der Einfluß der geoelektrischen Bodenstruktur wird von anderen Autoren bezweifelt, statt dessen werden meteorologische und topographische Faktoren für die unterschiedliche Blitzgefährdung verantwortlich gemacht.

Um eine Klärung dieser Probleme zu erleichtern, wäre es wünschenswert, die untersuchten Großgebiete so zu unterteilen, daß die Teilgebiete in geophysikalischer, topographischer und meteorologischer Hinsicht möglichst homogen sind.

Einfluß von Stadt und Land

G. Bruckmann [2, 3] hat sowohl in der Umgebung von Wien als auch von Rom die Blitzgefährdung statistisch untersucht und die Angaben nach Tafel 3 erhalten.

Man sieht, daß die auf die Zahl der Objekte bezogene Zahl der Blitzschläge Z_H in Stadt und Land wenig verschieden ist. Dagegen weichen die auf die Fläche bezogenen Ziffern Z_F in beiden Fällen stark voneinander ab. Nach der Meinung des Verfassers ist dies darauf zurückzuführen, daß die Dichte der Beobachtungsstellen in der Stadt viel größer ist als auf dem flachen Lande. Während also in der Großstadt die meisten Einschläge beobachtet werden, wird auf dem flachen Lande nur ein Teil dieser Einschläge beobachtet. Durch Vergleich der für die Stadt und ihre ländliche Umgebung gewonnenen Ziffern könnte man vielleicht die tatsächliche Zahl der in einem Lande niedergegangenen Blitze wenigstens ungefähr berechnen. Der Verfasser hat die Absicht, diese Untersuchungen später zu veröffentlichen.

Zusammenfassung

Es werden die Gesichtspunkte untersucht, die bei der Organisation einer internationalen Blitzschadenstatistik zu beachten sind. Es wird vorgeschlagen, die Zahl der Schadensfälle auf die Zahl der beobachteten Objekte und die Beobachtungsdauer zu beziehen. Die Unterschiede zwischen Gebäudeschaden- und Leitungsstatistik werden kurz behandelt. Die seit über einem Jahrzehnt geführte österreichische Statistik wird kurz beschrieben. Schließlich werden einige weitere Probleme besprochen, die statistisch behandelt werden können.

Schrifttum

[1] Baatz, H.: Überspannungen in Energieversorgungsnetzen. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1956.
[2] Bruckmann, G.: Zur Ermittlung der Blitzgefährdung. Statist. Vierteljschr. Bd. 8 (1955) S. 122–138.
[3] Bruckmann, G.: Aspetti statistici ed attuariali della rischiosità del fulmine. Diss. Rom, 1956.
[4] Bruckmann, G., u. Fritsch, V., u. Mosetti, F.: Alcune considerazioni di carattere statistico sull' incidenza dei danni per scariche elettriche atmosferiche. Tecnica Italiana Bd. 4 (1959) S. 1–14.
[5] Fritsch, V.: Zur Frage der geoelektrischen Blitzgefährdung. Geofisica pura e appl. Bd. 35 (1956) S. 149–160.
[6] Fritsch, V.: Zum Problem der geoelektrischen Blitzgefährdung. Gerlands Beitr. Geophys. Bd. 67 (1958) S. 304–323.
[7] Lehmann, G.: Beitrag zur Frage der örtlichen Blitzgefährdung in Freileitungsnetzen. Elektrie Bd. 13 (1959) S. 394–400.
[8] Müller-Hillebrand, D.: Åskans Skadeverkninar Brandskydd. Bd. 4 (1960) S. 50–55.

RUNDSCHAU

DK 621.313.32.001.57

Die Messung transients Drehmomente und Lastwinkel in Modell-Synchronmaschinen (Mikromaschinen). (The measurement of transient torque and load angle in model synchronous machines.) Nach Sudan, R. N., Manohar, V. N., u. Adkins, B.: Proc. Instn. electr. Eng. A Bd. 107 (1960) H. 31, S. 51–60; 19 B., 24 Qu.

Elektrische und mechanische Vorgänge in Synchronmaschinen unter Störbedingungen (z. B. Kurzschlüsse, Unterbrechungen, Ein- und Abschalten einer Last) werden in der Regel nach den Gleichungen von Park berechnet. Die Genauigkeit der nach dieser Theorie gewonnenen Näherung wird in dieser Arbeit experimentell nachgeprüft. Hierzu wurden entsprechende Hilfseinrichtungen entwickelt, mit denen man die Augenblickswerte sowohl des von der Versuchsmaschine auf die Belastungsmaschine übertragenen Drehmoments als auch des Lastwinkels oszillographieren kann. Für die Messung des über eine Welle übertragbaren Drehmoments gibt es mehrere Möglichkeiten: Messung der Beschleunigung, des Winkelausschlags zwischen den Läufern der Versuchs- und der Belastungsmaschine, der Dehnungen in der Läuferwelle, der Dehnungen in der Lagerung des Ständers und unmittelbare Messung des Drehmoments durch piezoelektrische Kristalle.

Es wird eine Methode bevorzugt, die Dehnungen in der Läuferwelle mittels Dehnungsmeßstreifen mißt. Infolge der Torsion der Welle entstehen auf dem Wellenmantel unter $\pm 45^\circ$ zur Mantellinie Strecken der Dehnung und Stauchung. Legt man in diese Strecken Dehnungsmeßstreifen, so erhält man über eine Brückenschaltung den Dehnungen und damit dem Drehmoment proportionale Spannungen, die oszillographiert werden können. Man kann die Brücken mit Wechselstrom oder Gleichstrom betreiben. Bei Betrieb mit Wechselstrom kann man einen Wechselspannungsverstärker benutzen und hat keine Schwierigkeiten mit Nullpunktswanderungen. Das Auflösungsvermögen ist jedoch durch die Trägerfrequenz von 1 kHz beschränkt. Außerdem müssen die Erdkapazitäten kompensiert werden.

Für die Gleichspannungsmethode ist ein Transistorverstärker in Differentialschaltung vorteilhaft. Auch für die Messung des Lastwinkels (elektrischer Winkel δ zwischen Polradspannung und Klemmenspannung) wurden zwei Einrichtungen entwickelt. Bei der einen Lösungsart befinden sich auf einer auf die Welle aufgesetzten Scheibe zwei magnetisierte Stahlspitzen, die in einer Spule Impulse erzeugen. Diese Impulse werden zur Helligkeitssteuerung einer durch die Klemmenspannung erzeugten Sinuskurve verwendet. Diese Sinuskurven müssen im unbelasteten Zustand so weit phasenverschoben werden, bis die Helligkeitspunkte in den Nullpunkten der Sinuskurve liegen. Die Auslenkung ist dann proportional $\sin \delta$. Um eine Auslenkung proportional $\sin(\delta - \delta_0)$ und damit für kleine Winkel proportional $\delta - \delta_0$ zu erhalten, muß man die Phasenverschiebung so weit verändern, bis der Arbeitspunkt im Nullpunkt der Sinuskurve liegt. Unterdrückt man nun noch die Sinuskurve, so verbleibt eine Folge von hellgesteuerten Punkten, die den Verlauf der Polradschwingungen wiedergeben. Die Registrierung findet auf einem bewegten Film statt.

Bei der zweiten Lösungsart arbeitet man mit einer Drehzahlgebermaschine auf gleicher Welle an Stelle der magnetisierten Stahlspitzen. Die entsprechenden Impulse werden dann elektronisch erzeugt. Außerdem wird an Stelle der Sinusablenkung ein geradliniger Zeilenkippkreis verwendet. Hierdurch entsteht Proportionalität auch für größere Winkel. Damit können Drehmoment und Lastwinkel in Abhängigkeit von der Zeit oszillographiert werden. Um einen Vergleich mit den gerechneten Kurven zu ermöglichen, muß man zuvor die Konstanten der Maschinen meßtechnisch erfassen (Reaktanzen, Trägheitskonstante, Dämpfungskonstante, Federkonstante bei Pendelungen).

In den beschriebenen Untersuchungen wird als Antrieb eine Gleichstrommaschine verwendet. Die Trägheitsmomente der beiden Maschinen ergeben mit der elastischen Welle ein schwingungsfähiges System. Hierzu wurden Aufschaukelungskurven bei Resonanz und die Drehmomente für drei- und zweiphasigen Kurzschluß oszillographiert. Ein Vergleich der oszillographierten und der gerechneten Kurven ergab

eine recht gute Übereinstimmung. Im ganzen gesehen erschienen die gerechneten Kurven etwas geringer gedämpft, was offenbar auf die mehr idealisierten Annahmen bei der Rechnung zurückzuführen ist. Es ist beabsichtigt, die Untersuchungen auch auf größere Maschinen auszudehnen.

Edn

DK 621.3.015.38.064 : 621.314.21

Die Auswirkung von Schaltüberspannungen auf Transformatoren, Drosselspulen, Strom- und Spannungswandler. Nach Christoffel, M.: Brown-Boveri-Mitt. Bd. 47 (1960) S. 225 bis 230; 9 B., 3 Qu.

Leitungen, Kabel und Kondensatorbatterien sind durch innere Überspannungen nur dann gefährdet, wenn deren Höchstwert das Isolationsniveau der Netzelemente überschreitet. Bei Transformatoren, Drosselspulen, Strom- und Spannungswandlern, also bei allen Netzelementen mit Wicklungen, können aber auch bei Schaltausgleichsvorgängen geringerer Amplitude infolge innerer Ausgleichsvorgänge dieser Anlagenteile Schäden auftreten.

Wesentlich für die innere Beanspruchung eines Wicklungsteiles ist nicht die Höhe des Potentials an der Eingangsklemme, sondern die Größe des Spannungssprunges oder, besser gesagt, die Steilheit der Ausgleichsspannung. Aus Meßergebnissen aus Stoßversuchen mit der Stoßwelle 1/50 an Großtransformatoren schließt der Verfasser, daß für eine Spannungsänderung gegebener Amplitude die Beanspruchung der Wicklungselemente in der Reihenfolge: im Rücken abgeschnittener Stoß, Vollstoß, Rückzündung beim Schalten abnimmt. Fordert man von einem Schalter, daß er keine höheren Überspannungen gegen Erde als 72% der Vollstoßprüfspannung verursacht, dann kann eine einzelne Rückzündung eine richtig bemessene Wicklung nicht gefährden. Die Beanspruchung durch schnell aufeinanderfolgende Rückzündungen könnte größer sein, doch treten solche erfahrungsgemäß nur mit geringerer Amplitude auf.

Die bei Schaltvorgängen auftretenden Frequenzen der Ausgleichsvorgänge liegen nach Angaben des Verfassers zwischen 0,2 und 5 kHz. Solche Ausgleichsvorgänge könnten im Innern einer Wicklung infolge Resonanz zu Spannungsüberhöhungen führen. Die Eigenfrequenzen der Transformatoren und Drosselspulen liegen jedoch, wie aus entsprechenden vom Verfasser angeführten Messungen hervorgeht, weit höher als die der Schaltausgleichsschwingungen, so daß diese den Transformatoren und Spulen nicht schaden können. Die Eigenfrequenzen der Wandler fallen jedoch häufig mit denen der Ausgleichsvorgänge zusammen. Da aber bei diesen die innere Dämpfung größer als bei Leistungstransformatoren ist und die Ausgleichsüberspannungen schon stark gedämpft auf diese auftreten, sind auch hier meist keine gefährlichen Spannungsüberhöhungen zu erwarten.

Auf Transformatoren auftretende Überspannungen übertragen sich im Verhältnis der Windungszahlen induktiv und abhängig von der geometrischen Anordnung der Wicklung auch kapazitiv auf die Sekundärseite. Die kapazitive Komponente ist häufig unbedeutend. Der Übergang in die induktive Komponente findet aber in einer Ausgleichsschwingung statt, die insbesondere bei unbelasteten Transformatoren den zulässigen Isolationspegel der Sekundärseite überschreiten kann. Überspannungsableiter bieten hier genügenden Schutz. Die Anwendung von Überspannungsableitern zur Begrenzung von inneren Überspannungen ist bei induktiven Schaltungen immer möglich, da die gespeicherte Energie klein ist. Bei kapazitiven Schaltungen hingegen reicht das Ableitvermögen der heute üblichen Ableiter häufig nicht aus, so daß an solchen Netzstellen rückzündungsfreie Schalter gefordert werden müssen.

Die vom Verfasser bezüglich der Leistungstransformatoren angestellten Überlegungen stimmen im wesentlichen mit den Betriebserfahrungen überein. An Spannungswandlern treten jedoch in der Praxis viele Schäden auf, vor allem in Verbindung mit den durch Schaltheftungen angeregten Ferroresonanzerscheinungen, die vom Verfasser leider nicht betrachtet werden. Bei diesen Vorgängen ist auch ein Schutz mit Überspannungsableitern nicht möglich.

Bu

VERBANDSNACHRICHTEN

VDE

Verband Deutscher Elektrotechniker

Frankfurt a. M. S 10, Stresemannallee 21

Fernruf: 60 341; Fernschreiber (Telex): 04-12 871;

Telegramm-Kurzanschrift: Elektrobund;

Postcheckkonto: Frankfurt a. M. 388 68.

Entwurf der Änderung b von VDE 0560 Teil 3 „Regeln für Kondensatoren für Kopplung, Spannungsmessung und Überspannungsschutz“

Der VDE-FNE-Gemeinschaftsausschuß „Kondensatoren“ hat eine Änderung b von VDE 0560 Teil 3 ausgearbeitet, die im wesentlichen eine Anpassung dieser Regeln an die Neufassung VDE 0111/2. 61 „Leitsätze für die Bemessung und Prüfung der Isolation elektrischer Anlagen für Wechselspannungen von 1 kV und darüber“ darstellt. Als Geltungsbeginn der Änderung ist der 1. Oktober 1961 vorgesehen.

Der Entwurf kann unter der Bezeichnung VDE 0560 Teil 3 b/...61 vom VDE-Verlag, Berlin-Charlottenburg 2, Bismarckstraße 33, zum Preise von 0,60 DM bezogen werden.

Einsprüche gegen den Entwurf sowie gegen den Termin für den Geltungsbeginn können bis zum 1. Juli 1961 der VDE-Vorschriftenstelle, Frankfurt a. M., Stresemannallee 21, eingereicht werden (doppelte Ausfertigung erbeten).

Der Vorsitzende des VDE-FNE-Gemeinschaftsausschusses „Kondensatoren“ Sträß	VDE-Vorschriftenstelle Weise
---	---------------------------------

Unter einem pneumatischen Einheitsregelgerät wird im Sinne des üblichen Sprachgebrauches ein Regelgerät mit pneumatischer Hilfsenergie und genormten Druckbereichen verstanden. Das Blatt erklärt die Kenngrößen und Kennwerte eines pneumatischen Einheitsregelgerätes, die vorwiegend durch Meßvorschriften definiert sind; Nichtlinearitäten und ein beliebiges Zeitverhalten (P, PI, PID, I) sind zugelassen. Das Richtlinienblatt gibt auch nützliche Verfahren zur vereinfachten Untersuchung an.

Die geschilderten Prüfverfahren sind ausnahmslos jahrelang erprobt und können eine Grundlage für eine künftige Vereinbarung von Toleranzen und vielleicht in Zukunft auch für Abnahmerichtlinien und Güteklassen abgeben.

Der Entwurf der Richtlinie ist im Wortlaut in der Zeitschrift „Regelungstechnik“ Bd. 9 (1961) H. 2, S. 65—76 veröffentlicht. Der Entwurf kann unter der Bezeichnung „Richtlinien-Entwurf 2179“ von der VDI/VDE-Fachgruppe Regelungstechnik, Düsseldorf, Prinz-Georg-Straße 77/79, bezogen werden.

Einsprüche gegen diesen Entwurf können bis zum 31. Mai 1961 der Geschäftsstelle der VDI/VDE-Fachgruppe Regelungstechnik, Düsseldorf, Prinz-Georg-Straße 77/79, eingereicht werden (doppelte Ausfertigung erbeten).

Berichtigung zu Zulassung einer Abweichung von VDE 0750 Teil 4/1. 59

„Sondervorschriften für die Zündung von Elektronenblitzröhren bei Foto-Endoskopie und Hochfrequenz-Zündimpulsen“

Es muß richtig heißen:

Die Spitzenspannung des HF-Zündimpulses darf 1,5 kV nicht übersteigen.

Der Kommissionsvorsitzende Graf	VDE-Vorschriftenstelle Weise
------------------------------------	---------------------------------

Einspruchsfristen zu Entwürfen von VDE-Bestimmungen

VDE 0720 Teil 14 Sondervorschriften für Elektrodenröhren

Angekündigt in ETZ-A Bd. 82 (1961) H. 6, S. 190

Einspruchsfrist bis 15. Mai 1961

Elektrotechnische Prüfstelle Berlin

Berlin-Charlottenburg 2, Bismarckstraße 33, Fernruf: 34 80 91

Ungültiger Prüfzeichenausweis

Der auf die Firma

Berliner Stanzwerk, Automaten- u. Werkzeugbau GmbH,
Berlin SW 61,

lautende Prüfzeichenausweis B 3185/1

für Durchlauferhitzer Type DN/12 a, 380 V Drehstrom, 3 × 4 kW,
ist ungültig.

Elektrotechnische Prüfstelle Berlin
Saß

Mitteilungen der VDE-Bezirksvereine

VDE-Bezirk Hamburg e. V.

Am 9. Februar 1961 fand im Patriotischen Gebäude zu Hamburg die von 245 Mitgliedern besuchte Jahresversammlung für 1960 statt.

Es wurden 3 Mitgliedern die goldene, 19 Mitgliedern die silberne VDE-Ehrennadel verliehen. Der Vorsitzende, Dipl.-Ing. Winkelmann, gab einen umfassenden Überblick über die Tätigkeit des Gesamtverbandes und des Bezirksvereins, der um 59 auf 871 Mitglieder anwuchs.

Die Amtszeit aller Vorstandsmitglieder bis auf diejenige des Direktors Dipl.-Ing. Schneekloth war abgelaufen. Für die Geschäftsjahre 1961 und 1962 wurden alle Mitglieder einstimmig wiedergewählt, und zwar Prokurist Dipl.-Ing. Winkelmann, Oberbaurat Dr. Krause, Direktor Dr. Berghahn, Bundesbahnrat Dipl.-Ing. Nieden, Vizepräsident Dipl.-Ing. von Ehren, Obering. Dr. Gross, Baurat Dr. Thiessen.

An Stelle des im hohen Alter befindlichen und seit vielen Jahren verdienten Baudirektors i. R. Wundram wurde Direktor Dr. Rindfleisch Mitglied des Beirats. Die Mitglieder Ing. Allstaedt, Dir. Dr. Gruschke und Dir. Reichel wurden wiedergewählt.

Im Rahmenprogramm hielt Dipl.-Ing. Pawlitzki, SSW Erlangen, einen interessanten Lichtbildervortrag über das aktuelle Thema „Energieprojekte in Nordafrika“.

Richtlinien-Entwurf

VDI/VDE 2179 „Beschreibung und Untersuchung pneumatischer Einheitsregelgeräte“

Benutzer und Hersteller von pneumatischen Regelgeräten stehen seit Jahren in zunehmendem Maße vor dem Problem, die Geräteeigenschaften angebotener oder gewünschter Geräte definieren zu müssen. Aufbauend auf Vorarbeiten in der Normenarbeitsgemeinschaft für Meß- und Regeltechnik in der chemischen Industrie hat sich ein Ausschuß der VDI/VDE-Fachgruppe Regelungstechnik mit dem Arbeitstitel „Abnahme von Regeln“ der Aufgabe unterzogen, hierfür eine gemeinsame Sprache mit definierenden Meßverfahren zu schaffen. Die Arbeitsergebnisse des Ausschusses liegen nunmehr als VDI/VDE-Richtlinien-Entwurf vor.

VDE-Bezirk Schleswig-Holstein

Am 2. Februar 1961 fand in Kiel die Jahresmitgliederversammlung des VDE-Bezirksvereins Schleswig-Holstein statt. In seinem Jahresbericht würdigte der langjährige Vorsitzende, Ziv.-Ing. *H. Lafrenz*, die Verdienste seiner Vorstandskollegen, die ihn bei der Durchführung seiner Aufgaben in vorbildlicher Weise unterstützt haben. Als Nachfolger für das Amt des Vorsitzenden im VDE-Bezirksverein Schleswig-Holstein wurde einstimmig Obering. *Radach* gewählt. Die übrigen Vorstandsmitglieder wurden wiedergewählt. *H. Lafrenz* bleibt weiterhin als stimmberechtigtes ordentliches Mitglied im Vorstand. In den Vorstand wurden neu gewählt: Direktor Dipl.-Ing. *W. Preuß* und Betriebsdirektor Dipl.-Ing. *G. Weidler*.

Ziv.-Ing. *Henry Lafrenz* gehört nahezu 4 Jahrzehnte dem VDE, Bezirksverein Schleswig-Holstein, an. Seit 1922 ist er im Vorstand tätig. Ein besonderer Höhepunkt im Verbandsleben des Bezirksvereins war die im Jahre 1927 in Kiel abgehaltene VDE-Hauptversammlung, die mit einem Gartenfest mit großem Feuerwerk auf „Bellevue“ abschloß. An dem Festabend haben 1500 Personen teilgenommen. Der Bezirksverein umfaßte damals 52 persönliche und 12 korporative Mitglieder. Als es im Jahre 1948 eine kleine Schar Elektroingenieure unternahm, den Bezirksverein wieder aufzubauen, wurde *H. Lafrenz* ihr Vorsitzender. Ihm gelang es, in den 12 Jahren, in denen er den Vorsitz führte, nicht nur viele persönliche Mitglieder, sondern auch eine stattliche Zahl korporativer Mitglieder zu gewinnen. Der Bezirksverein Schleswig-Holstein im Verband Deutscher Elektrotechniker zählt nunmehr 405 Mitglieder, darunter 43 korporative. Beim Neuaufbau des Bezirksvereins war *H. Lafrenz* mit Erfolg bemüht, auch die früheren Beziehungen des VDE zu den elektrotechnischen Kreisen der Marine wiederherzustellen. Im Jahre 1954 wurde er Ehrenmitglied des Bezirksvereins Schleswig-Holstein. Auf der im Jahre 1955 in Kiel durchgeführten VDE-Hauptversammlung wurde *H. Lafrenz* zum Vorsitzenden des Wahlausschusses des VDE gewählt. Dieses Amt hat er noch heute inne. Sein besonderes Anliegen galt den Jungingenieuren, d. h. dem Nachwuchs in der Elektrotechnik. So werden in der hiesigen Ingenieurschule die Studierenden auf den VDE und die Verbandsarbeit hingewiesen; ebenso wurde die Techniker-Abendschule gefördert. Die großen Verdienste von *H. Lafrenz* sind aus berufenem Munde anlässlich seines 75. Geburtstages in ETZ-A Bd. 80 (1959) S. 740 ausführlich gewürdigt worden.

VERANSTALTUNGSKALENDER

Berlin: EV Berlin, Berlin-Charlottenburg 2, Bismarckstr. 33.

27. 4. 1961, 18.15, Technische Universität, Hörsaal EB 301: „Probleme und Systeme der Signalisierung des Straßenverkehrs“, Dr.-Ing. *G. Mai*, Berlin.

Bonn: VDE-Bezirk Köln, Zweigstelle Bonn, Immenburgstr. 7–11.

9. 5. 1961, 19.00, Fernmeldeamt, Unterrichtssaal, Reuterstr. 65: „Die Kunst des Mittelalters im Lichte moderner Farbphotographie“, *F. Ernst*, Beuel.

Braunschweig: ETV Braunschweig, Technische Hochschule, Pockelstr. 4.

4. 5. 1961, 20.00, Technische Hochschule, Hörsaal M 1: „Über kontaktlose Steuersysteme“, Dipl.-Ing. *W. Kaufmann*, Amberg.

Hamburg: VDE-Bezirk Hamburg, Gerhart-Hauptmann-Platz 48.

4. 5. 1961, 17.30, Museum für Völkerkunde, großer Vortragssaal, Rothenbaumchaussee 64: „Kontaktlose logische Steuerungen für die Industrie“, Dr.-Ing. *W. Weitbrecht*, Erlangen.

Hannover: ETG Hannover, Bischofsholer Damm 70.

9. 5. 1961, 18.15, Technische Hochschule, Hörsaal 42: „Das technische Ausbildungswesen in der Sowjetunion“, Prof. Dr. rer. techn. *W. Niens*, Berlin.

Köln: VDE-Bezirk Köln, Köln-Riehl, Amsterdamer Str. 192.

12. 5. 1961, 18.00, Staatliche Ingenieurschule, Ubierring 48: „Kulturgeschichte der Technik zur Römerzeit in Westdeutschland“, Dr.-Ing. *F. Kretzschmer*, Düsseldorf.

Wolfenbüttel: ETV Braunschweig, Technische Hochschule, Pockelstr. 4.

5. 5. 1961, 18.00, Staatliche Ingenieurschule, Physiksaal: „Über kontaktlose Steuersysteme“, Dipl.-Ing. *W. Kaufmann*, Amberg.

Berlin: Lichttechnische Gesellschaft, Bezirksgruppe Berlin, Berlin-Grünwald, Hohenzollernndamm 88.

26. 4. 1961, 18.00, Technische Universität, Hörsaal H 1012: „Neuere Entwicklungen an Hochleistungs-Leuchtstofflampen“, Prof. Dr. *A. Lompe*, Berlin.

Essen: Haus der Technik, Essen, Hollestr. 1.

5. 5. 1961, 9.15–17.00, und 6. 5. 1961, 9.15–12.00, Haus der Technik, Hörsaal A: „Elektronik und Organisation“, Dr. rer. techn. *U. Schöttle*, Stuttgart.

5. 5. 1961, 14.30–18.00, Haus der Technik, Hörsaal B: „Sprechfunk, Fernsehen und Radar im Straßenverkehr“, Ministerialdirigent *H. Ruwe*, Düsseldorf.

BEKANNTMACHUNGEN

VDE/VDI-Fachgruppe Elektrisches und Wärmetechnisches Messen

Am 18. und 19. Mai 1961 findet in den Zoogaststätten Lindenhof in Münster/Westf. eine Tagung „Messen von Zustandsgrößen und Stoffeigenschaften im Betrieb — neuere Methoden und Geräte“, statt.

Es werden drei Themengruppen behandelt werden:

1. Meßtechnische Erfassung der wichtigsten Zustandsgrößen,
2. Meßtechnische Erfassung von Stoffeigenschaften,
3. Übertragung der Meßwerte und Auswertung.

Am 1. Tag soll die Methodik des Messens von Zustandsgrößen der Stoffeigenschaften behandelt werden, während der 2. Tag der Übertragung und Darstellung der Meßwerte gewidmet sein soll.

Bei allen Vorträgen werden die theoretischen und physikalischen Grundlagen nur in dem für das Verständnis erforderlichen Umfang gebracht. Hauptsächlich wird der gegenwärtige Stand der Technik dargelegt und die derzeitigen Entwicklungsrichtungen aufgezeigt.

Anfragen und Anmeldungen nimmt die VDE/VDI-Fachgruppe Elektrisches und Wärmetechnisches Messen, Düsseldorf, Prinz-Georg-Str. 77/79, entgegen.

Tagung des Verbandes Deutscher Physikalischer Gesellschaften e. V.

Der Verband Deutscher Physikalischer Gesellschaften e. V. hält seine nächste Physiker-Tagung in der Zeit vom 15. bis 22. Oktober 1961 in Wien ab. Diese Tagung wird gemeinsam mit der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft veranstaltet. Geschäftsführer ist Prof. Dr. *Hermann Auer*, München 2, Sophienstraße 2.

IV. Congres International d'Electrothermie, Bd. 2

Über den IV. Internationalen Elektrowärme-kongreß (Stresa 1959) wurde ein Berichtsband herausgegeben, von dem nunmehr auch der zweite Teil erschienen ist. Während der 1. Teilband (300 Seiten) vor allem die Diskussionsbeiträge enthält, werden im 2. Teilband (1200 Seiten mit 1650 Abbildungen) alle Berichte veröffentlicht, die während des Kongresses behandelt wurden. Je nach Verfasser sind diese Berichte in der deutschen, englischen oder französischen Sprache abgefaßt und durch kurze Inhaltsübersichten in den 3 Verhandlungssprachen (deutsch, englisch, französisch) ergänzt.

Das Berichtswerk kann zum Preise von L 35.000 vom Verlag des Comitato Eletrotecnico Italiano, Mailand, 10, Via San Paolo, bezogen werden.

Fernseh-Technische Gesellschaft E. V.

Vom 25. bis 29. September 1961 findet in Aachen im „Roten Hörsaal“ des Hörsaalgebäudes der TH die 9. Jahrestagung der Fernseh-Technischen Gesellschaft E. V. statt.

Genauere Einzelheiten über den Ablauf der Tagung enthält das Einladungsheft, das Anfang Juli 1961 verschickt wird. Die Quartiersbeschaffung übernimmt das Kur- und Werbeamt der Stadt Aachen.

Die Organisation des Vortragsprogramms liegt bei Professor Dr. *Theile*. Vortragsmeldungen sind bis zum 1. Juni 1961 an folgende Anschrift zu senden:

Institut für Rundfunktechnik GmbH, München-Freimann,
Florianmühlstraße 60.

PEHLA Gesellschaft für elektrische Hochleistungsprüfungen

In der in ETZ-A Bd. 82 (1961) H. 4, S. 125, veröffentlichten Bekanntmachung ist folgende Berichtigung nachzutragen:

4. **Siemens-Schuckertwerke Aktiengesellschaft, Schaltwerk, Hochleistungs-Versuchsfeld**
Dreiphasige Kurzschlußleistung bis 1500 MVA bei Spannungen bis 240 kV.

Einphasige Kurzschlußleistung bis 900 MVA bei Spannungen bis 420 kV (äquivalent einer dreiphasigen Kurzschlußleistung von 1800 MVA bei Spannungen bis 480 kV).

Richard Vieweg zum 65. Geburtstag

Am 25. April 1896 wurde der derzeitige Präsident der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Prof. Dr. Ing. E. h. Dr. rer. techn. *Richard Vieweg*, in Topfseifersdorf (Erzgebirge) geboren. Wir deutschen Elektrotechniker, die wir uns schmeicheln dürfen, *Richard Vieweg* als einen der unsrigen zu betrachten, haben um so mehr Grund, des 65. Geburtstages dieses hervorragenden Mannes zu gedenken, als dieser Tag nach dem Willen des Jubilars gleichzeitig der seines Übertritts in den wohlverdienten Ruhestand sein soll. Der Verfasser dieser Zeilen aber, der mit *Vieweg* seit den ersten Jahren seiner beruflichen Tätigkeit in Berührung steht, hat das Gefühl, daß er, indem er sich seines Auftrages entledigt, mehr Ehre gewinnt, als er durch seine Ausführungen jemals dem Jubilar erweisen kann.

Die wichtigsten Stationen am Lebenswege *Richard Viewegs* sind:

- 1914 Reifeprüfung an der Fürstenschule in Meißen,
- 1914 bis 1918 Kriegsdienst, zuletzt als Unteroffizier der Reserve,
- 1919 bis 1922 Studium der Mathematik und Physik an den TH Berlin und Dresden,
- 1921 Staatliche Prüfung als Versicherungsmathematiker,
- 1922 Prüfung für das höhere Lehramt,
- 1923 Eintritt in das Maschinenlaboratorium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (PTR),
- 1923 Promotion an der TH Dresden zum Dr. rer. techn.,
- 1927 Regierungsrat und Vorsteher des Hochspannungslaboratoriums der PTR,
- 1935 Ruf an die TH Darmstadt als ordentlicher Professor und Direktor des Instituts für Technische Physik,
- 1946 bis 1947 Rektor der TH Darmstadt,
- 1951 Berufung durch den Bundesminister für Wirtschaft zum Präsidenten der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig.

Wir sehen hier einen Lebensweg vor uns, der das Berufsethos und die Schaffenskraft eines ganzen Mannes erforderte. Seine größte Leistung hat *Vieweg* durch den Aufbau der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig vollbracht, eines Staatsinstitutes, das die Tradition der ehemaligen Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin-Charlottenburg fortzusetzen berufen ist. Er hat das Institut nicht nur mit den modernsten Meß- und Forschungseinrichtungen ausgestattet, er hat auch den Mut und die Durchschlagskraft besessen, das Institut seinem Umfang nach den seit dem zweiten Weltkrieg gewaltig angestiegenen Anforderungen anzupassen, was darin zum Ausdruck kommt, daß es heute etwa 1000 Angehörige zählt gegenüber nur wenigen hundert der alten PTR. *Vieweg* hat aber nicht nur ein vorbildliches Institut geschaffen und mit seinem Geist erfüllt, sondern — und das werden kommende Generationen zu schätzen wissen — er hat es verstanden, die durch den zweiten Weltkrieg unterbrochenen internationalen Beziehungen neu zu knüpfen und der Bundesanstalt wieder das Ansehen und die Bedeutung zu verschaffen, deren sich die PTR als erstes derartiges Staatsinstitut der Welt erfreuen konnte.

Es ist kaum vorstellbar, daß *Vieweg* noch die Zeit und die Schaffenskraft aufbringen konnte, so nebenbei noch rd. 200 wissenschaftliche Veröffentlichungen, insbesondere aus den Gebieten der elektrischen Feinmeßtechnik, des Hochspannungsmeßwesens, der Reibung und Schmierung und der Kunststoff-Forschung zu verfassen und bei etwa 20 Büchern und Sammelwerken Verfasser oder Mitarbeiter

oder Mitherausgeber zu sein. Daß *Viewegs* geistige Interessen sich nicht nur auf die trockene Wissenschaft beschränkten, beweisen seine Aufsätze aus der Braunschweiger Zeit über die Kulturbedeutung des Meßwesens und grundlegende Fragen der Forschung.

Daß einem Mann mit diesen Gaben und von solcher Schaffenskraft, wie wir ihn im vorstehenden kennengelernt haben, zahlreiche Ehrungen zuteil wurden, versteht sich von selbst. Hier möge eine Aufzählung der Ehrungen und der *Vieweg* übertragenen Ehrenämter folgen; letztere waren geeignet, die auf seinen Schultern ruhende Arbeitslast noch beträchtlich zu vergrößern, und lassen befürchten, daß aus *Viewegs* wohlverdientem Ruhestand ein „Unruhestand“ werden kann.

Ehrungen

- 1952 Honorarprofessor der TH Braunschweig,
- 1956 Dr.-Ing. E. h. der TH Darmstadt,
- 1957 Silberne Verdienstplakette der Stadt Darmstadt,
- 1959 Karmarsch-Denkmünze der Hannoverschen Hochschulgemeinschaft.

Ehrenämter

- Mitglied des Senats der Deutschen Forschungsgemeinschaft und deren Vertreter in der Deutschen UNESCO-Kommission, ordentliches Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Mainz und zu Göttingen sowie der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, Ehrenmitglied des Spanischen Obersten Forschungsrates, Korrespondierendes Mitglied der Kgl. Akademie der Wissenschaften zu Madrid;
- Vorsitzender des Deutschen Komitees der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC),

Mitglied des Vorstandes des Deutschen Verbandes technisch-wissenschaftlicher Vereine.

Auf der 11. Generalkonferenz der Meterkonvention im Oktober 1960 in Paris wurde *R. Vieweg* — und dies ist wohl die größte ihm erwiesene Ehrung und gleichzeitig Anerkennung des wiedergewonnenen internationalen Ansehens der PTB — zum Präsidenten des Internationalen Komitees für Maß und Gewicht einstimmig gewählt.

Um das Bild abzurunden, das im vorhergehenden gezeichnet wurde, bleibt uns noch übrig, des Menschen *Vieweg* zu gedenken, der auf keinen, der mit ihm in Berührung kommt, seinen Eindruck verfehlt. Seine Mitarbeiter schildern ihn als liebenswerten Kollegen und gütigen Vorgesetzten und rühmen das von ihm geschaffene gute Betriebsklima in der PTB. Der Verfasser dieser Zeilen kennt ihn des näheren aus 10-jähriger Tätigkeit im Deutschen Komitee der IEC, dessen Vorsitz *Vieweg* seit seiner Wiedergründung im Jahre 1951 innehat. Wenn die deutschen Experten in den IEC-Kommissionen wieder ihren Platz wie früher einnehmen, verdanken sie dies nicht zuletzt dem besonnenen, bescheidenen und doch festen Auftreten *Viewegs* in den übergeordneten Gremien und seiner eleganten Beherrschung der englischen und der französischen Sprache. Für sein vorbildliches Wirken in der internationalen Arbeit ist die deutsche Elektrotechnik dem Jubilar großen Dank schuldig.

Zum Schluß — last not least — sei noch der verehrten Gattin, Frau Dr. *Vieweg*, gedacht, die es verstanden hat, ihrem Gatten viele seiner repräsentativen Pflichten abzunehmen, und deren gastfreies Haus weitreichende Berühmtheit besitzt.

J. Biermanns



E. Schulze f. — Am 2. Februar 1961 starb nach schwerer Krankheit Prof. Dr.-Ing. *Erich Schulze*, der langjährige Chefelektriker der Berliner Kraft- und Licht- (Bewag) Aktiengesellschaft. *Erich Schulze* wurde am 31. Dezember 1895 in Halle a. S. geboren, wo er nach dem Besuch der Oberrealschule im Jahre 1915 die Reifeprüfung ablegte. Am ersten Weltkrieg nahm er als Kriegsfreiwilliger und später als Leutnant der Reserve bei der Nachrichtentruppe teil, 1918 wurde er verwundet. Ab Januar 1919 studierte er Elektrotechnik an der TH Hannover zusammen mit seinem Zwillingenbruder, Prof. Dr.-Ing. *Hermann Schulze*, dem jetzigen Ordinarius für Elektrizitätsversorgung an der TH Dresden. Nach der bestandenen Diplomprüfung — im Oktober 1921 — war er 7 Jahre Assistent an dem von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. *W. Kohlrausch* und später von dessen Nachfolger, Prof. Dr. *H. Schering*, geleiteten Elektrotechnischen Institut der TH Hannover. Im Jahre 1925 promovierte er dort zum Dr.-Ing. mit einer experimentellen und theoretischen Arbeit über die Beeinflussung der Schaltzeiten von Relais.

1928 trat *Erich Schulze* in die Dienste der Berliner Städtischen Elektrizitäts-Werke AG, der späteren Berliner Kraft- und Licht- (Bewag) Aktiengesellschaft, zunächst als Mitarbeiter der Elektrotechnischen Abteilung. Hier oblag ihm die Bearbeitung aller elektrotechnischen Probleme und der für die großstädtische Stromversorgung wichtigen Aufgaben der Entwicklung, Planung und Gestaltung des Stromversorgungssystems. Seine überragenden fachlichen Fähigkeiten, sein klares Urteilsvermögen und sein unermüdlicher Fleiß trugen ihm große berufliche Erfolge ein. So wurde er 1931 zum Leiter der Elektrotechnischen Büros, 1940 zum Chefelektriker und Abteilungsleiter, 1943 zum Betriebsdirektor mit Prokura ernannt.

Erich Schulze hat seine reichen Kenntnisse und Erfahrungen vielen Ausschüssen der wissenschaftlich-technischen Gemeinschaftsarbeit zur Verfügung gestellt, insbesondere den Gremien des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke, der Deutschen

Verbundgesellschaft und der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen. Die Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques (CIGRE) verdankt ihm wertvollste Mitarbeit auf dem Gebiet der Energieübertragung mit hochgespanntem Gleichstrom, dem sein besonderes Interesse galt. In dem Studienkomitee „Verteilung“ der Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d'Energie électrique (UNIPED) führte er den Vorsitz.

Der Verstorbene war Verfasser zahlreicher Aufsätze aus den verschiedensten Zweigen der Elektrizitätsversorgung und hat sein Wissen der Fachwelt in vielen Vorträgen vermittelt. Wegen seiner Gabe einer überaus klaren Darstellungsweise in Wort und Schrift, seiner umfassenden theoretischen Kenntnisse und praktischen Erfahrungen und seines pädagogischen Geschickes blieb es nicht aus, daß ihm 1957 ein Lehrauftrag an der TU Berlin für das Gebiet „Stromverteilung“ erteilt wurde. Seine akademischen Verdienste wurden im Juni 1960 durch die Ernennung zum Honorarprofessor belohnt.

Leider konnte sich *Erich Schulze* dieser wohlverdienten Anerkennung seiner wissenschaftlichen Leistungen nur noch kurze Zeit erfreuen. Viel zu früh verliert in ihm die Elektrotechnik einen äußerst befähigten, in in- und ausländischen Fachkreisen hochgeachteten Ingenieur; seine zahlreichen Freunde und Mitarbeiter beklagen den Verlust eines liebenswerten Menschen, in dem sich großes Können mit Bescheidenheit und Güte vereinten.

P. Jacottet

P. Schulze. — Am 1. Dezember 1960 beging Obering. *Paul Schulze*, Stuttgart, seinen 80. Geburtstag in bemerkenswerter geistiger und körperlicher Frische und Rüstigkeit.

Schulze stellt nach wie vor seine großen Erfahrungen der Concordia Maschinen- & Elektrizitäts-Ges. mbH, Stuttgart, zur Verfügung, der er bereits über 23 Jahre angehört. Seit 1908 war er vorwiegend in der Projektierung und Ausführung elektrischer Zentralen, Anlagen und Leitungen tätig; unter anderem bei der Elektrizitäts-AG vormals Lahmeyer & Co., bei der Lechwerke-AG, der Bergmann-Elektrizitäts-Werke AG und der Bayer. AG für Energiewirtschaft, z. T. viele Jahre als techn. Vorstand, Direktor und Chef österreichischer Niederlassungen. In Österreich hat er sich besonders bei der Elektrifizierung der dortigen Bundesbahnen ausgezeichnet.

fi

R. Seifert. — Der Inhaber des Röntgenwerkes Rich. Seifert & Co., Hamburg, Dr.-Ing. E. h., Dr. rer. nat. h. c. *Richard Seifert*, vollendete am 23. Dezember 1960 sein 70. Lebensjahr.

Vor 44 Jahren trat *Seifert* als Juniorchef in das 1892 von seinem Vater gegründete Werk ein. Er war einer der ersten, deren Initiative es zu verdanken ist, daß die Röntgenstrahlen auf den Gebieten der Forschung und der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung eingeführt wurden.

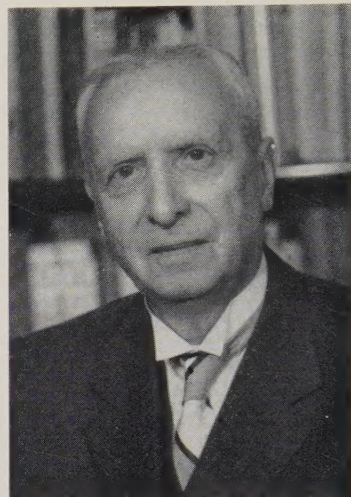
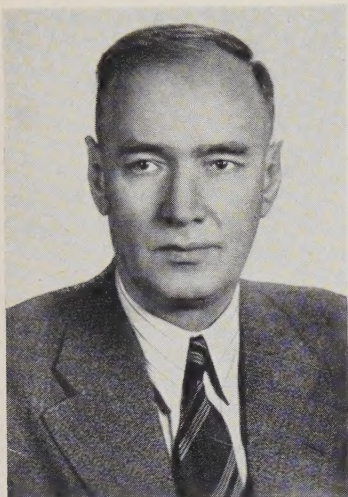
Für sein Wirken in dieser Richtung wurden ihm viele Ehrungen zuteil. Die Universität Hamburg und die Technische Hochschule Hannover verliehen ihm den Ehrendoktor, die Technische Hochschule Stuttgart ernannte ihn zu einem ihrer Ehren-Senatoren, die Hochschule in Hannover zum Ehrenbürger.

Im Jahre 1959 verlieh ihm der Bundespräsident das Große Verdienstkreuz.

Über 25 Jahre war *Seifert* Vorstandsmitglied in den Gremien der Deutschen Elektrotechnischen Industrie. Der Zentralverband der Elektrotechnischen Industrie verlieh ihm 1959 die Ehrenmitgliedschaft. Der Verband der Metallindustriellen Hamburgs und Umgebung e. V., dessen Vorsitz er 1945 übernahm, ernannte ihn nach zehnjähriger Tätigkeit zum Ehrenvorsitzenden.

Heute noch ist *Seifert* ehrenamtlich tätig als Plenarmitglied der Handelskammer Hamburg und als Mitglied verschiedener anderer Organisationen.

fi



JUBILÄUM

G. Seulen. — Dr.-Ing. *Gerhard Seulen*, der technische Geschäftsführer der AEG-Elotherm GmbH, Remscheid, blickte am 1. Februar 1961 auf eine 25-jährige Dienstzeit zurück.

Nach dem Studium und der Promotion war *Seulen* kurze Zeit am Hochspannungsinstitut der TH Braunschweig tätig und trat anschließend in das Forschungsinstitut der AEG in Berlin-Reinickendorf ein. Er übernahm 1939 die neugebildete Abteilung „Elektro-Duro“ der Deutschen Edelstahl-Werke und wurde später bei der Gründung der DEW-Elotherm GmbH zum technischen Geschäftsführer ernannt.

Hier hatte *Seulen* Gelegenheit, seine Ideen zur industriellen Nutzbarmachung der induktiven Erwärmung in die Praxis umzusetzen. Eine Reihe wichtiger Patente geht auf seine grundlegenden Arbeiten zurück. Mit einem Lehrauftrag über „Industrielle Elektrowärme“ an der TH Darmstadt wurde auch seiner wissenschaftlichen Leistung die Anerkennung zuteil.

fi

Abschluß des Heftes 12. April 1961

Schluß des Textteiles

Schriftleitung: Frankfurt a. M., S 10, Stresemannallee 21; Fernruf 60 341, Fernschreiber (Telex) 04-12 871.

Hauptschriftleiter: Dr.-Ing. *P. Jacottet* (für den redaktionellen Teil verantwortlich).

Schriftleiter: Dipl.-Ing. *F. Meske* und Dipl.-Ing. *K. Rangs*.

Zuschriften für die Schriftleitung nicht an eine persönliche Anschrift, sondern nur an: Schriftleitung der ETZ, Frankfurt a. M. S 10, Stresemannallee 21.

Verlag und Anzeigenverwaltung: VDE-Verlag GmbH, Berlin-Charlottenburg 2, Bismarckstraße 33, Fernruf 34 01 41, Fernschreiber (Telex) 01-84 083.

Anzeigenleitung: *Kurt Totzauer*.

Bezugspreis (halbjährlich zuzügl. Zustellgebühr) 24,— DM, für VDE-Mitglieder - nur durch den VDE-Verlag - 16,— DM; Ausgabe A und B zusammen 34,— DM, für VDE-Mitglieder - nur durch den VDE-Verlag - 24,— DM. Einzelpreis dieses Heftes 2,— DM.

Druck: Deutsche Zentraldruckerei AG, Berlin SW 61, Dessauer Straße 6/7.